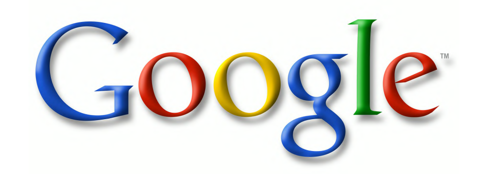
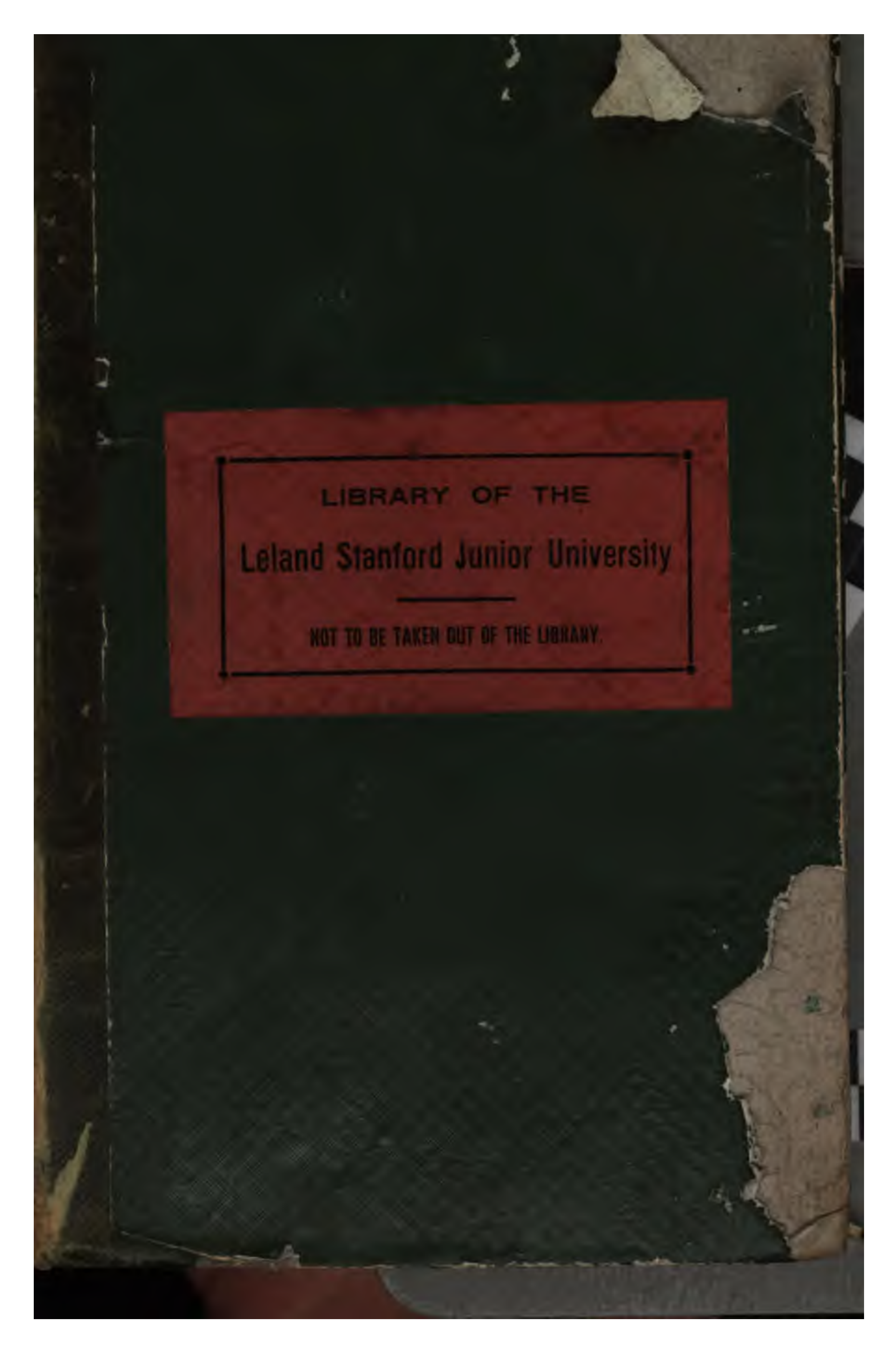




LIBRARY OF THE
Leland Stanford Junior University
NOT TO BE TAKEN OUT OF THE LIBRARY.

1?

# DELL'INFLUENZA

DELLE

# STRADE DI FERRO

E DELL'ARTE

DI DISEGNARLE E COSTRUIRLE

OPERA

DEL SIGNOR SEGUIN

L'industria è la vita
de' popoli inciviliti.

*Prima versione italiana.*

MILANO
PRESSO L'EDITORE ANDREA UBICINI
1840

Gt. Recat. 15


TIP. BONFANTI

# Ai direttori della Società

## PER LA COSTRUZIONE

DELLA

## PRIVILEGIATA STRADA FERDINANDEA

## LOMBARDO-VENETA

In un tempo in cui i governi, i capitalisti e tutti gli uomini positivi rivolgono la loro attenzione al gran movimento industriale che signoreggia il mondo, e segnatamente alle strade di ferro destinate a progressi tali che i più arditi mal saprebbero misurare, ho stimato che il pubblicare tradotto questo libro sia opera accettevole non solamente per Voi, ma per tutti quegli Italiani ancora che volessero porsi un po' addentro nell'importanza economica di questo genere di locomozione, non che nel meccanismo e nella nomenclatura di ogni sua parte costitutiva.

Credo quindi che, vestito del nostro idioma, non potrei meglio raccomandarlo che a Voi, i quali assumeste i primi la direzione della grandiosa impresa di una strada ferrata da Milano a Venezia, approvata già da S. M. Ferdinando I Imperatore e amatissimo nostro Re, che si degnò fregiarla dell'Augusto suo nome.

Chi conosce la condizione presente di nostra lingua mancante affatto di quelle voci e que' modi tecnologici che le invenzioni e le scoperte vanno di continuo aumentando tra le nazioni più industri potrà valutare al giusto le difficoltà contro cui ha dovuto lottare il traduttore; difficoltà che bisogna sperimentare all'atto del tradurre un libro importante per apprezzare quanto bene farebbe al nostro paese un Dizionario tecnologico concertato fra alcuni letterati de' varj stati d'Italia.

Spero che Voi, signori, non disgradirete quest'offerta, sebben tenue, nel pensiero che ebbi di esebire, primo in Italia, la pubblicazione in nostra lingua di questo libro, la cui circolazione si farà oggi così opportuna e così immedesimata coll'impresa a cui vi accingeste, e che produrrà fra noi nuove combinazioni commerciali. La tendenza del secolo chiamano oramai l'arte libraria ad oggetti diversi da quelli che furono fin qui l'operosità della tipografia e l'industria del commercio de' libri. Ora si vogliono cose utili praticamente, cose sperimentali e produttive; ecco la giustificazione di questo mio tentativo, ecco le ragioni per cui reputo di dedicarlo a Voi.

L'industria deve diventare la vita delle nazioni, questa è l'idea che preoccupa i governi più prudenti, ogni speculatore e gli attenti osservatori dell'andamento sociale. Possa ciò verificarsi per il vantaggio comune, e per la prosperità mutuale di tutti gli individui che contribuiscono, co' loro talenti e colle loro fatiche, a questo trionfo dell'avvenire sui funesti principii della discordia civile, mercè la pace, l'ordine e la moralità.

Milano, 1 giugno 1840.

Andrea Ubicini.

# INTRODUZIONE

Le nazioni incivilite sono tutte al giorno d'oggi dominate dall'idea di accrescere gli agi e i godimenti della vita materiale: tutti gli sforzi umani sono rivolti verso l'industria, perchè da quella sola può aspettarsi il progresso. Facendo nascere e sviluppando sempre negli uomini nuovi bisogni, e somministrando loro ad un tempo i mezzi di soddisfarvi, l'industria è divenuta la vita dei popoli. Tutti i voti, tutte le volontà, tutte le intelligenze, tendono a perfezionarla, e tutti gli spiriti generosi che aspirano all'onore di concorrere alla rigenerazione sociale devono collegarsi a tale intento.

A quai confini si arresterà la potenza umana? Gli ingegni volgari nulla veggono al di là del loro stretto orizzonte, e tuttavia questo ogni giorno più si allarga, e i confini dell'industria vieppiù si allontanano. Se gettiamo lo sguardo intorno a noi, veggiamo che dappertutto, da venti anni fino al dì d'oggi, gli elementi della vecchia civiltà vennero modificati, perfezionati, rinnovati, e che dappertutto si sono operate meraviglie. L'artigiano parte-

cipa al giorno d'oggi a quei godimenti e a quelle agiatezze della vita che altra volta erano riservate unicamente ai ricchi, e poco andrà che si spargeranno egualmente in tutte le classi. Mille industrie, mille invenzioni nacquero simultaneamente e condussero ad altre scoperte, le quali dal canto loro divennero o diverranno elemento di nuovi progressi a profitto dell'universale e dell'individuale ben essere. È questa una nuova era in cui l'amore del buono e del bello si solleva sulle rovine dei pregiudizj delle caste e dei monopolii della ricchezza. Lo stesso carattere si manifesta in tutte le creazioni, ed in tutte le innovazioni; e i prezzi bassi e l'utilità generale sono le condizioni essenziali della vita delle arti industriali. I governi e le amministrazioni locali furon strascinati nel movimento irresistibile delle masse, ed hanno subìto lo stesso impulso; nè altrimenti hanno potuto sostenersi che accordando le opportune riforme alla necessità dei tempi, e subordinandole alle idee moderne per le quali le dovettero accettare. Il vecchio mondo ha scosso il giogo delle sue antiche abitudini, ed ha assunto nuova tempera e nuova forma. Tutto cambia intorno a noi: l'aspetto delle città, la fisonomia delle campagne, il corso dei fiumi, i lavori delle popolazioni, le produzioni del suolo e dell'industria, il riparto delle proprietà; tutto ha preso un nuovo aspetto. E quando la potenza diretta, la forza materiale dell'uomo si è trovata insufficiente per compire l'opera intrapresa, e per perseverare nel progresso; quando pareva che la sua volontà avesse a frangersi contro insuperabili ostacoli, viene ad un tratto l'acqua ridotta in vapore a supplire alla sua debolezza, ed a creare una potenza di cui non ha potuto ancora, e non potrà per lungo tempo, misurare l'estensione.

Dacchè si è potuto disporre di questo agente ausiliario, vennero compiti prodigi e maraviglie ed entrarono nel corso ordinario delle cose portenti tali, che i nostri padri non avrebbero potuto credere possibili se non per via di sortilegio. L'uomo invigila oziosamente sul lavoro delle macchine che da sè stesse filano e tessono il canape, il cotone, la lana, la seta, e riducono a stoffe variate le materie che abbandoniamo ad esse nello stato nativo: indi, dopo aver subìto una preparazione chimica di poche ore, quelle tele immerse in un bagno ne escono ad un tratto quasi per magìa dipinte a vivissimi colori e a graziosi disegni: così si fanno quelle belle *indiane*, delle quali nei giorni di riposo s'adorna la popolazione laboriosa, e le quali, sì nella campagna che nella città, abbelliscono col loro splendore e colla loro freschezza i gruppi delle giovani fanciulle, e spargono intorno ad esse un'aria di gioja, d'agiatezza e di felicità. D'altra parte il sucido straccio gettato nel tino n'esce ben presto trasformato in carta bianchissima, atta a ricevere, a divulgare, ad eternare il vostro pensiero: pochi minuti hanno bastato per tal metamorfosi. Dappertutto gli oggetti più dilicati di utilità e di lusso vengono profusi alla consumazione a prezzi sempre decrescenti. Nè ciò basta: per mezzo del vapore i fiumi, i mari ci trasportano con inconcepibile celerità a tutte le estremità del globo, e gli edifici fluttuanti che ricoverano il povero ed il ricco, offrono loro un tal lusso e tali agiatezze di cui forse mancano nelle proprie case: infino nelle nostre valli, al dissopra dei fiumi ed attraverso le colline serpeggiano e si svolgono immense striscie di ferro, e su quelle si slanciano rapide come il pensiero macchine formidabili che sembran quasi divorare lo spazio con impazienza spontanea, e pa-

jono dotate di vita a giudicarne dal soffio e dal moto. Quando si considera la maestosa eleganza di quelle linee che si sviluppano e si livellano bellamente attraverso le pianure, le valli, i precipizj, e le montagne di granito; quando si ascolta il rumore del passaggio di quei convogli che trasportano parecchie migliaja d' uomini, senza che lo sguardo abbia tempo di scorgerli; quando si dice che tali risultamenti sono effetto d' un'industria appena esistente da alcuni anni, di un agente studiato finora imperfettamente, e di un' arte che è tuttavia nella sua infanzia, sorge un giusto desiderio di conoscere quai saranno gli estremi prodigi di tal arte, e una nobile volontà di contribuire alla più pronta realtà dei suoi incalcolabili beneficj.

Dimostrare lo stato attuale dell' industria delle strade di ferro, indicare le parti che possono essere migliorate, richiamare l'attenzione della scienza intorno alle lacune che restano da riempire; manifestare alfine alcune mie proprie viste, da me reputate utili per l'avvenire, tale è lo scopo che mi sono proposto nel pubblicare questo libro. Non voglio però illudermi intorno alla sorte che gli è riservata: non ignoro che trattando d'un'industria appena nata, in cui il progresso della vigilia vien sempre ecclissato dal progresso dell' indomani, le mie osservazioni e le mie idee non tarderanno a divenire arretrate: ma tal previdenza non mi ha fatto indietreggiare, anzi l'ho accarezzata: perocchè desidero veementemente che queste pagine vengano ben presto abbandonate dai pratici, come invecchiate e che siano da rilegarsi nelle biblioteche come documenti storici dell'arte.

Essendomi dedicato all'industria dalla prima adolescenza, ho cercato più di tutto di migliorare in

Francia il sistema delle comunicazioni. In alcuni viaggi da me fatti in Inghilterra m'era convinto che per trasportare in Francia la civiltà industriale dagli Inglesi bisognava prima di tutto eguagliare i nostri mezzi di trasporto ai loro; che a tale intento bisognava moltiplicare i ponti, porre ad effetto la navigazione a vapore, e stabilire strade di ferro, e a questa triplice intrapresa diressi tutti i miei sforzi. Nel 1824 feci costruire il primo ponte di filo di ferro che sia stato gettato sopra un gran fiume. Il fervore con cui venne d'ogni parte imitato tale esempio superò le mie speranze. La semplicità, l'eleganza e soprattutto il basso prezzo di quei ponti meritò il pubblico favore, e in pochi anni ne furono costruiti molti in luoghi in cui i ponti ad archi o sarebbero stati impossibili, o avrebbero recato troppo grave dispendio.

L'applicare il vapore alla navigazione ed alle strade di ferro era ben più difficile intrapresa, ed è principalmente la storia dei tentativi da me fatti per migliorare le macchine ch'io metto sotto gli occhi del pubblico. Il buon successo ottenuto dal mio nuovo sistema della caldája a tubi generatori, e l'applicazione immediata che ne venne fatta alle macchine locomotive, mi fanno sperare che sarò egualmente felice nelle applicazioni che intendo di farne alla navigazione ed agli altri bisogni dell'industria, e mi riputerò ben fortunato se tale scoperta potrà contribuire a nuove conquiste della scienza nel dominio delle produzioni positive.

Consegnerò inoltre in quest'opera tutte le osservazioni da me fatte nel far costruire la strada di ferro di Saint-Étienne. Non è più lunga di 15 leghe, eppure in tale corto spazio si sono incontrati tutti gli ostacoli, tutte le difficoltà, tutti gli accidenti di terreno, infine tutti i casi ordinarii

ed eccezionali che si possono presentare nelle più lunghe linee. E perciò la descrizione dei mezzi da me impiegati per condurla felicemente a fine potranno essere di soccorso agli altri costruttori.

Sono già alcuni anni che i gran lavori di pubblica utilità erano tutti esclusivamente diretti dagli ingegneri del governo. Ad essi, che erano nutriti di studj speciali e profondi, si poteva senza inconveniente parlare il linguaggio della scienza con tutte le sue astrazioni e le sue formule complesse. Ma dacchè l'esecuzione delle grandi intraprese ha cessato di essere un monopolio, altri doveri sono imposti agli scrittori di tal materia. I ragionamenti e le spiegazioni da essi esposte non devono più unicamente appoggiarsi a dati teorici od a soluzioni matematiche che si suppongono ammesse *a priori*, ma devono rimontare agli elementi della scienza, semplificarli, riassumerli e metterli a portata di tutte le classi dei lettori. È noto quanto facilmente i principj delle scienze matematiche e i metodi analitici si cancellino dalla memoria. Quando l'autore suppone che basti rammentare le sorgenti d'onde ha attinto gli elementi dei suoi calcoli e le formule di cui indica i risultamenti e le applicazioni, accade d'ordinario che il lettore gli creda sopra la sua parola, e passi oltre senza darsi briga di seguirlo nel suo calcolo. Le dimostrazioni più semplici e più atte ad illuminare il pratico si confondono allora nel suo spirito con formule empiriche, o dati arbitrarii, e se non rinuncia alla loro lettura, non ne ricava almeno alcun frutto.

L'uomo che ha studiato con buon successo le matematiche deve aver acquistata la facoltà di afferrare e seguitare un ordine di idee consentaneo alla natura di tale studio, e deve avere arricchita la sua intelligenza d'un genere d'attitudine che non si

perde mai. Ma, eccettuato il caso in cui siasi dedicato all'insegnamento di tal scienza, è cosa ben rara che la ricordanza non se ne affievolisca ben tosto nella sua mente. Ma io ho voluto esser inteso anche da coloro che hanno obbliato, e perciò ho riputato necessario l'escludere da quest'opera tutti i calcoli troppo complicati, e di supplirvi con brevi e chiare spiegazioni. D'altra parte è evidente che per far progredire l'arte delle costruzioni e la meccanica usuale, vuol essere impiegato un metodo differente da quello che non è intelligibile se non dagli uomini versati nelle alte scienze speculative. Per giovare allo sviluppo dell'industria bisogna mettere al servizio di quella i principii più semplici della scienza, e, con un linguaggio svestito da ogni forma convenzionale, estenderne e, per quanto è possibile, renderne l'uso popolare.

Per non allontanarmi da questo piano, tutte le volte che lo studio di un fatto avrebbe reso necessario l'uso di formule o di libri speciali, ho cercato di supplirvi con dimostrazioni facili, senza trascurare tuttavia di mettere il lettore sulla strada di quei principii col soccorso dei quali potesse ottenere dimostrazioni analitiche e rigorose. Con questo metodo ho stabiliti tutti i calcoli tendenti a determinare:

1.° Il tracciamento di una linea di strada di ferro considerata sotto la duplice vista della facilità e dell'economia de' trasporti.

2.° Il tempo impiegato dai convogli per acquistare una data celerità quando discendono sopra un piano inclinato, o quando sono messi in moto da una macchina della quale si può valutare la potenza.

3.° La resistenza dell'aria.

4.° L'effetto della gravità nelle curve per far deviare i convogli dalla loro direzione.

5.° Lo sforzo orizzontale che i convogli esercitano contro le spranghe nelle curve, e l'eccesso di attrito che ne risulta.

6.° Le cagioni per le quali le macchine, durante il corso loro, abbandonano talvolta momentaneamente le spranghe.

7.° L'eccesso di attrito, e gli effetti delle scosse che ne derivano.

8.° La forza della resistenza delle spranghe.

9.° La pressione e l'azione del vapore nelle macchine.

Tutte siffatte quistioni le ho discusse, ed ho cercato di risolverle, non nel punto di vista teorico, ma col soccorso di fatti risultanti dall'esperienza.

Ebbi cura in ogni circostanza di precisare con applicazioni numeriche i risultamenti somministrati dal calcolo. Ed effettivamente una formula s'imprime meglio nella memoria quando la si è applicata ad una soluzione positiva connessa ad un interesse materiale, che quando non la si è considerata se non in termini indefiniti o quando se ne è fatto saggio senza uno scopo reale. Perciò le mie dimostrazioni ed i miei calcoli avranno il vantaggio di poter essere facilmente ritenuti da tutti i pratici.

Sebbene le mie intenzioni predominanti, intraprendendo questo lavoro, sieno state quelle ora da me esposte, credetti tuttavia di non dover rimanere estraneo alla discussione dei grandi interessi nazionali, alla quale dà luogo la costruzione delle strade di ferro, e che si agita in questo momento nelle nostre camere legislative. Ho presentato alcune riflessioni relative al punto di vista sotto il quale tali quistioni dovrebbero, secondo me, essere considerate. I due primi capitoli della mia opera manifestano l'opinione che mi sono formato su tale

oggetto, e contengono una breve notizia dell'origine e dei progressi delle strade di ferro.

Entro poscia nella discussione dei problemi che si rannodano direttamente all'arte ed all'esecuzione.

Un buon sistema di pendenze e di curve adatto ai bisogni è, senza dubbio, il primo elemento e la base fondamentale di una esecuzione saggiamente combinata. Ho lungamente insistito sopra questi due punti; mi sono sforzato a ben definire i confini entro i quali è d'uopo restringersi, avuto riguardo alle condizioni che si devono adempire. Esercitando una grande influenza sulla proporzione della pendenza la considerazione dei motori da impiegarsi, ho dovuto entrare in alcuni particolari intorno al valore comparato dei motori. Non deve quindi recar maraviglia l'incontrare in quel capitolo alcune digressioni anticipate su tale oggetto.

Dei capitoli IV, V e VI il primo tratta delle cause accidentali che contribuiscono a far variare la resistenza dei convogli;

Il secondo dei lavori d'arte;

Il terzo delle vetture e carri.

Intorno a tali quistioni io mi sono quasi esclusivamente limitato ad esporre i casi eccezionali che per una lunga esperienza ebbi agio di studiare. In quanto a tutti gli altri particolari che furono descritti in altre opere sulle strade di ferro, o che si possono scorgere mediante la semplice ispezione dei lavori eseguiti, non ne ho trattato che i punti di maggior importanza.

Gli ultimi due capitoli sono dedicati allo studio dei motori, e particolarmente delle macchine locomotive. Considero questa parte del mio lavoro come la più importante e la più nuova, e mi compiaccio nella speranza che giovi a rettificare alcuni accreditati errori intorno al valore comparativo dei cavalli e delle macchine.

Tentai di determinare la quantità di forze che può produrre un cavallo nel termine medio delle condizioni ordinarie, e i risultamenti a cui sono giunto, assai prossimi a quelli indicati quarant'anni sono dall'illustre Mongolfier di cui mi vanto d'essere nipote e discepolo, stanno molto al dissotto della valutazione comunemente ammessa. Credo altresì che quei risultamenti sieno più esatti e più proprii a prevenire gli errori in cui sono inciampati tutti quelli che hanno adottata la valutazione comune.

Ho recato anche uno studio del tutto particolare nell'investigare il modo di agire del vapore nelle diverse macchine impiegate nell'industria, e nell'indagare la quantità della forza motrice da quello prodotta. L'esame di tal questione m'ha naturalmente condotto ad esporre alcune idee ricevute dal signor Mongolfier intorno alla generazione della forza.

Ad onta della ripugnanza ch'ebbi di urtare le idee ricevute e di esporre un'opinione che avrebbe sostituita una nuova teoria a quella finora adottata, non ho però esitato. Effettivamente scorgeva in questo modo di considerare le cose la possibilità di spargere qualche luce sopra una parte di scienza ancora oscura, e di far progredire di qualche passo l'arte di trar profitto del calore nella produzione della forza. D'altronde le spiegazioni date dai miei antecessori venivano riconosciute come insufficienti, ed io non dovea stare in forse di divulgarne altre nuove, che m'hanno di molto avvicinato ai risultamenti della pratica.

Il signor Mongolfier opinava che il calorico ed il moto sono una manifestazione differente di un solo e medesimo fenomeno, la cui principale cagione ci è del tutto occulta. Quindi io ho consi-

derato il moto nelle sue relazioni colla quantità di calore necessario a produrlo, facendo astrazione dai corpi che servono d'intermedio a tale trasformazione. Ho potuto in seguito esaminare fino a qual punto sarebbe possibile di far eseguire da qualunque altro corpo le funzioni del vapore dell'acqua nel sistema attuale. Forse nello sviluppo di tali idee si troveranno alcune vedute che gioveranno a fissare l'opinione intorno ai tentativi che si vanno facendo per ottenere dall'aria compressa tutto l'effetto che si ottiene dal vapore.

Considerando il modo di agire del vapore sotto il punto di vista da me presentato, si arriverebbe a questa conseguenza: che, cioè, del calorico impiegato a far evaporare l'acqua, solamente una picciola parte serve a produrre la forza o la potenza meccanica, ed un'altra parte ben maggiore si perde senza effetto dopo essere stata prodotta.

Rimane adunque che si conosca tal seconda parte di calore e che si trovi il modo di utilizzarla. Abbandono alle esplorazioni della scienza tal vasto campo di scoperte. Ogni perdita è ostile all'economia, ed il segreto del progresso sociale consiste nella più perfetta economia di tempo, di denaro, e di mezzi. Si gioverebbe alla soluzione del problema aumentando la potenza dell'uomo senza aumentare le spese col sussidio delle quali giunge ad esercitarla. Mi chiamerei fortunato se potessi in minima parte contribuirvi.

Checchè ne sia di tali future speranze, io offro in questo libro ai miei contemporanei tutte le osservazioni e tutta l'esperienza che ho potuto acquistare in molti anni di studio e di pratica; desso non sarà dunque inutile, almeno nel tempo presente, e perciò non sarà immeritevole della benevolenza del pubblico.

# DELL' INFLUENZA

DELLE

# STRADE DI FERRO

E DELL'ARTE

## DI DISEGNARLE E COSTRUIRLE

## CAPITOLO PRIMO

### ISTORIA DELLE STRADE DI FERRO

### I. Origine delle strade di ferro.

Le grandi innovazioni industriali non sono mai frutto di un concepimento subitaneo e completo, nè sorgono mai tutto ad un tratto perfette dal genio di un solo inventore. È ben rara cosa che il loro sviluppo non sia subordinato al progresso di altre arti parecchie, delle quali sia necessario il simultaneo concorso per applicarvele opportunamente. L'importanza della scoperta non si sente generalmente se non quando il fatto è compiuto, e ridotto a risultati positivi. Allora esso entra nella massa degli elementi della civiltà ed assume una parte attiva e valutabile nel movimento delle idee e delle cose. Allora se ne studia l'importanza, se ne apprezza l'influenza e si cerca di moltiplicare i vantaggi che se ne possono derivare. Tutte le invenzioni industriali cominciano ad avere la loro istoria quando sono giunte a tal grado di maturità. Quanto a ciò che

concerne il periodo anteriore, se non è involto in impenetrabile oscurità, si riduce ad alcuni tratti che si riproducono quasi senza eccezione nello stesso ordine e colle medesime circostanze: dapprincipio sorge un uomo la cui possente immaginazione ha avanzato la propria epoca ed ha slanciato nelle regioni delle cose possibili uno sguardo che si potrebbe chiamare profetico; egli ha presentito l'opera, e forse ne ha quasi sotto nube veduti i risultati; ma la scienza ha mancato al pensiero, ed appena egli ha potuto gettare un germe impercettibile nel movimento sociale. Però questo germe si è insensibilmente ingrandito; lo hanno giovato tutti i progressi che si sono operati intorno a lui; ogni nuova scoperta nelle industrie secondarie lo ha fatto progredire un passo verso la maturità. Finalmente, allorquando il bisogno generale richiede l'innovazione, allorquando il mondo è stato preparato a riceverla ed a renderla utile, si è trovato un uomo giudizioso e perseverante le cui felici combinazioni ne hanno reso universale il beneficio; e quest'ultimo ha raccolto, insieme alla gloria da lui legittimamente acquistata, anche tutta la parte alla quale i suoi predecessori avevano diritto; perchè la pubblica riconoscenza fa poco conto dei teorici che hanno indovinato o stabilito un principio, ma si rivolge tutta intiera verso colui che ne ha fecondata l'applicazione. Egli è in questa guisa che il nome di Watt è divenuto popolare ed immortale, mentre appena si conosce il nome di coloro che avanti lui studiarono la forza del vapore.

Si sa ancora meno a qual epoca e a qual primo inventore rimonti realmente l'origine delle strade di ferro. L'idea di facilitare il trasporto delle vetture mettendo sotto il passaggio delle ruote un corpo duro ed unito era così semplice e dovea presentarsi sì naturalmente anche agli uomini meno ingegnosi, che non sarebbe possibile di assegnarle una data. Si sono successivamente impiegati, a tal uopo, dadi in pietra, pezzi di legno e infine liste di ferro, ma tali perfezionamenti recati alla costruzione delle strade non si resero dapprima di uso molto comune. D'altronde ciò non era che un primo

passo verso l'invenzione del modo di trasporto da cui oggigiorno otteniamo sì ammirabili effetti.

Ei sembra che a Newcastle-sur-Tyne nella contea di Durham in Inghilterra fossero fino dall'anno 1649 (1) stabilite strade a ruotaje in legno e che la resistenza al trasporto fosse tanto diminuita da potersi con un sol cavallo trascinare sopra una strada piana 10,000 kil. di carbon fossile. Ma quelle ruotaje deterioravano ben presto, e questo era nel loro uso un grave inconveniente. Per rimediarvi, il signor Reynolds, l'uno degli interessati nella gran fonderia di Colebrook-Dale nel Shropshire, concepì l'idea di sostituire al legno ruotaje di ferro fuso. Ei propose a' suoi soci di farne un'esperienza, che si eseguì nel dì 13 novembre 1767 (2) impiegando soltanto cinque o sei tonnellate di ruotaje.

Queste erano piane con un risalto interno ed esterno per contenere sulla strada le ruote delle vetture. Erano fissate con cavicchie di ferro o con chiodi a vite sopra pezzi di legno situati a traverso la strada. Ma la polvere ed il fango accumulandosi nell'angolo che formava il risalto nuocevano alla rotazione e quindi il signor Sessop nel 1789 immaginò di praticar il risalto nelle ruote. Dietro tale modificazione la forma delle ruote e delle ruotaje e la maniera di fissar queste sovra cuscinetti di ferro fuso, sovra dadi in pietra o traversi di legno, furono ad un dipresso eguali a ciò che oggigiorno si pratica.

Nel 1820 essendosi in Inghilterra per tal modo perfezionata la fabbricazione del ferro malleabile da diminuirne considerabilmente il prezzo, il signor John Birkinshaw delle fucine di Bedlington ottenne una patente per fabbricare spranghe di ferro a onde trasversali e della lunghezza di 15 piedi inglesi. Il suo metodo consisteva nel far passare le barre di ferro rovente per una serie di scanellature scavate in un cilindro. Le scanellature crescevano e diminuivano alternativamente in profondità, ed il ferro uscendo da questa forma presentava nella parte infe-

(1) *Trattato pratico delle strade di ferro*, di Nicola Wood. Parigi 1834, § 5.
(2) *Trattato pratico delle strade di ferro*, § 9.

riore una serie di segmenti eguali allo sviluppo del cilindro. I cuscinetti destinati a sostenere le spranghe erano fissàti nel punto d'unione dei segmenti.

Dopo quest'epoca non si può accennare alcun progresso sensibile nella fabbricazione delle spranghe, o nelle maniere di fissarle. Può darsi che il sistema possa ancora migliorarsi; ma gli sforzi fin qui fatti a tale intento non hanno finora prodotto effetto di sorte. Cionondimeno questo interessante problema industriale viene investigato da gran numero d'uomini sapienti ed illuminati, e giova sperare che le loro indagini non rimarranno sempre infruttuose.

Checchè ne sia le strade di ferro nel loro stato attuale bastano ai bisogni della nostra epoca, e la Francia soprattutto ne trarrà gran vantaggio. Per tutto ciò che concerne i mezzi di trasporto gli Inglesi ci hanno di molto superato; le loro belle strade, i loro eccellenti cavalli, la buona organizzazione del servigio delle loro pubbliche vetture hanno concesso ad essi finora sopra di noi una superiorità incontestabile: ma quando saranno costruite le strade di ferro non avremo più nulla ad invidiare ai nostri vicini in quanto al comodo ed alla rapidità dei viaggi. I governi riconosceranno ben tosto senza dubbio quanto loro giovi il facilitare ed incoraggiare le relazioni di popolo a popolo, il moltiplicare i mezzi di. comunicazione, l'affrettare il cambio e la fusione delle idee, ed il mettere a contatto e ad emulazione tutte le industrie: allora gli odj e le rivalità nazionali si cancelleranno, e si vedrà accrescersi e svilupparsi quella tendenza che sembra invitare tutti i popoli inciviliti a formare una sola famiglia.

### II. Del rango che le strade di ferro occupano nel sistema generale dei trasporti.

Avuto riguardo alla forma propria delle strade di ferro, le vetture atte a farne il servizio sono invariabilmente collegate alla strada sulla quale devono muoversi, e soltanto mercè di un processo particolare si può sovvertire l'ordine, secondo il quale sono state origina-

riamente situate sulla strada. Tal condizione dovette fin da principio trar seco necessariamente la conseguenza che un solo e medesimo interesse dovesse reggere lo stabilimento, l'uso ed il mantenimento della strada. In fatto le strade di ferro furono dapprima create per servire agli scavi del carbon fossile, di pietre o d'ardesia, ai forni di calce, ecc., furono insomma consacrate al particolare uso di un' industria, i cui prodotti partivano dallo stesso punto per essere trasportati alla riva di un canale, o a qualche gran centro di consumo. Tale stato di cose durò quasi due secoli.

Ma allorquando l'accrescimento dei bisogni accrebbe l'attività dei consumi, divennero insufficienti i mezzi ordinarj di trasporto, e si pensò quindi a generalizzare l'uso delle strade di ferro. Si dovette pertanto aver cura di svilupparne le linee, di estenderne l'applicazione e di metterle, tanto per la solidità della costruzione, quanto per la perfezione degli accessorj, in armonia col nuovo servizio a cui si destinavano. La strada di ferro da Darlington a Stokton fu la prima che siasi costrutta sotto l'impero di queste idee. Venne intrapresa nel 1825 da una compagnia composta in gran parte di membri della società dei Quaccheri, proprietarj delle miniere di carbon fossile poste al di là di Darlington. La sua principale o a meglio dire unica destinazione era di facilitare lo sbocco dei prodotti di quelle miniere. È a dirsi che favorevolissime circostanze secondavano quella tentata innovazione, poichè si operava in una località ricca di scavi d'ogni specie, la cui popolazione era da lungo tempo accostumata ad impiegare questo mezzo di trasporto, ma però sovra una picciola scala.

Le vetture furono dapprincipio strascinate da cavalli, cui si aggiunsero ben presto le macchine; ma tali motori erano sì pesanti ed imperfetti che somministravano appena sufficiente vapore per produrre una celerità di quattro a cinque miglia inglesi per ora, ossiano circa due metri ogni minuto secondo. Siffatta lentezza, se non fosse stata vincibile, avrebbe considerabilmente ristretta l'utilità delle strade di ferro. Io aveva cominciato a scorgere la possibilità di perfezionare il sistema

delle macchine motrici; me ne occupai attivamente ed ebbi la fortuna d'inventare le caldaje a tubi generatori, delle quali arricchii l'industria nell'anno 1827. Col sussidio di quel sistema si potè, diminuendo il peso della macchina, ottenere una quantità molto più considerevole di vapore, e per conseguenza di forza. Allorchè nel 1830 si mise in attività la strada di ferro da Manchester a Liverpool vennero per la prima volta applicate le nuove caldaje alle locomotive, e produssero tanta celerità che sorpassò tutto quello che dapprima erasi giudicato possibile. Nelle prime esperienze fatte nel 15 settembre 1830 tale celerità fu portata a quindici leghe all'ora e in tentativi posteriori fu spinta fino a venticinque leghe: ma per timore di sinistri accidenti non si volle approfittare di tutta questa forza, e si giudicò prudente di regolare la velocità al termine medio di dodici leghe per ora.

Da quel punto il servizio delle strade di ferro si estese meravigliosamente; non furono più unicamente usate pel trasporto delle mercanzie; il nuovo motore ne raddoppiava l'utilità, e la rapidità del cammino produsse bentosto un siffatto concorso di viaggiatori, che era fuori d'ogni proporzione coi calcoli che si era preventivamente tentato di stabilire sul probabile accrescimento della circolazione. Tal risultato è divenuto agli occhi degli speculatori una guarentigia di buon successo della quale si fa conto tutte le volte che si intraprende la costruzione di una strada di ferro per facilitare le comunicazioni attraverso a gran centri di popolazione; e i vantaggi più certi delle strade di ferro si sperano d'ora innanzi più che da altro dal trasporto delle persone. Effettivamente non può esservi interesse così grande nell'accelerare l'arrivo delle mercanzie. La grande celerità non può ottenersi che a costo della deteriorazione delle ruotaje e delle macchine locomotive, e le spese di manutenzione e riparazione s'aumentano proporzionalmente. Perciò non è ancora ben risoluta la quistione se per il trasporto delle mercanzie pesanti e voluminose le strade di ferro sieno da preferirsi ai canali ed ai fiumi navigabili. È probabile che entrambi questi mezzi di

trasporto saranno per lungo tempo usati in concorrenza l'uno dell'altro, e quand'anche in avvenire l'aumento illimitato dei trasporti esigesse che venissero stabilite sulle strade di ferro vie particolari e separate pei viaggiatori e per le mercanzie, una sì grande attività non ricadrà esclusivamente in favore dei nuovi stabilimenti: gli uni e gli altri continueranno ad essere impiegati secondo la natura del servizio che se ne vorrà ritrarre. Anzi la prosperità delle strade di ferro agirà favorevolmente anche a pro dei canali, ed aumenterà il moto di quei trasporti ai quali essi sono più particolarmente destinati.

### III. Dei vantaggi delle strade di ferro.

Ogni modo di trasporto presenta alcuni vantaggi suoi proprj ed è assai difficile lo stabilire paragoni a questo riguardo ed il pronunciare a favore dell'uno o dell'altro. Per esempio, come si potrebbe decidere se sia preferibile il mettere alcuni punti in comunicazione fra loro col costruire una strada di ferro, un canale, o una semplice strada, o col migliorare il corso di un fiume, o coll'adottare qualunque altro mezzo che potesse essere scoperto, se non si sono prima stabilite le condizioni speciali del problema da risolversi? Non potrò dunque in questo luogo trattare dei vantaggi delle strade di ferro se non sotto un aspetto generale.

Ho già detto che la celerità colla quale si può viaggiare sopra una strada di ferro non ha limiti, ma che finora non si è voluto spingerla al di là di dodici leghe per ora. I mezzi di stabilire le spranghe, i cuscinetti, i dadi, le dighe, ecc., la costruzione delle vetture e delle macchine non presentano ancora sufficienti guarentigie di sicurezza perchè si possa andare al di là, e l'uso di questo ramo d'industria è di data troppo recente perchè siansi potute correggere le numerose imperfezioni che l'esperienza ha diggià scoperte. Ma è certo che fra non molto si arriverà ad approfittare di tutta la celerità ottenutasi nei differenti saggi. Egli è principalmente e quasi unicamente per l'interesse dei viaggiatori che deve desiderarsi di raggiu-

gnere tal meta, poichè l'uomo istruito dalla civiltà a comprendere tutto il valore del tempo, divien sempre più propenso a farne economia; e nell'impazienza d'arrivare prontamente al suo scopo, chiude l'occhio sui pericoli, o li teme ancor meno che le dilazioni. Nelle strade di ferro, per esempio, i pericoli sono tali che supponendo le vetture arrestate da un ostacolo improvviso, verrebbero a rompersi le une contro le altre con una velocità eguale a quella di un peso che cadesse dalla sommità di un edificio alto cinquanta metri al disopra del suolo.

In quanto alle mercanzie non può esser mai, od almeno è solo rare volte necessario di trasportarle con sì grande rapidità. Basta quasi sempre al commerciante di conoscere la durata del tragitto, poichè allora egli sa prendere le sue precauzioni per far combinare il tempo dell' arrivo colle sue convenienze. D' altronde v' hanno ben poche mercanzie di sì alto prezzo che l'interesse del denaro nello spazio che corre fra la partenza e l'arrivo, dedotta la differenza del prezzo del trasporto, meriti d'avervi riguardo. In effetto, gli zuccheri brutti spediti dall'Hâvre a Parigi restano per termine medio un mese sulla Senna; vi valgono circa 1500 franchi la tonnellata, e calcolando l'interesse al 6 per 100, la perdita sarebbe di 7 franchi, 50 centesimi, che aggiunti ai 24 franchi che si pagano per le spese, porterebbe il costo totale del trasporto a 31 franchi, 50 centesimi. Egli è evidente che un servizio col quale regolarmente il trasporto si facesse in dodici ore dovrebbe essere preferito, se le condizioni del prezzo di trasporto restassero notabilmente al dissotto di quella cifra. Ma, a prezzo eguale, quand'anche il tragitto si potesse effettuare in tre o quattro ore, il negoziante accorderebbe ben poca importanza a tale celerità massimamente quando ei potesse egualmente concludere i suoi affari col mezzo delle mostre.

Perciò, allorquando si ha a decidere intorno alla scelta di un modo di trasporto, egli è indispensabile d'innoltrarsi nell'esame speciale di tutte le circostanze che si rannodano alla quistione proposta. Una strada di ferro,

per quante difficoltà si presentino alla sua costruzione, sarà sempre preferibile in tutte le direzioni nelle quali si reca un gran concorso di viaggiatori, perchè tal concorso deve necessariamente aumentarsi a misura che le comunicazioni divengono più rapide. La moltiplicità dei viaggi è il primo e più inevitabile effetto dei progressi di un popolo verso la civiltà, e quindi si hanno tutte le probabilità possibili di favore, adoperandosi per un ordine di cose che ogni giorno più s'avvicina a noi.

Ma ragionando in questa ipotesi, si comprende facilmente che il trasporto delle mercanzie può recare frequenti inconvenienti, e distruggere in gran parte i vantaggi delle strade di ferro, compromettendone la celerità e la sicurezza, dalle quali unicamente dipende la loro preminenza. Alcuni istanti bastano ai viaggiatori per entrare nelle vetture ed uscirne. Quando l'ordine si è una volta stabilito, quando ognuno conosce i segnali dei movimenti, le ore ed i luoghi delle stazioni, in allora le gite dei convogli si eseguiscono con armonia e rapidità straordinaria, e le perdite di tempo sono ridotte al più breve spazio possibile. Ma non è così allorquando il convoglio trasporta mercanzie. Prima di tutto l'impossibilità di caricare e scaricare sulla strada principale induce la necessità di stabilire numerose ramificazioni che rendono complicata la linea ed aumentano la probabilità dei sinistri: inoltre se non si vuole far ascendere il prezzo del trasporto ad una misura troppo elevata, bisogna sovrapporre alle vetture un gran carico; la fatica delle spranghe s'accresce in proporzione del peso accumulato sopra ciascun punto; le fratture delle ruote, degli assi e di tutte le altre parti del materiale si moltiplicano; gli ostacoli, le scosse possono mettere più sovente in pericolo la vita dei viaggiatori. Finalmente, se la linea che percorre la strada di ferro attraversa un paese la cui popolazione sia sparsa in tanti piccoli centri, s'aggiunge a tutti questi inconvenienti un aumento considerabile di dispendio; perchè le spese e le precauzioni indipendentemente dall'importanza delle stazioni sono dappertutto

quasi le stesse. Quando adunque alla costruzione della strada si congiunge necessariamente l'obbligo di stabilire un gran numero di stazioni, o di punti di carico e scarico, tal obbligo non può essere trascurato nei calcoli, e deve esser preso in considerazione, sì per le spese materiali che per la probabilità degli inconvenienti.

Il prezzo dei posti dei viaggiatori e quello del porto delle mercanzie non devono stare unicamente in proporzione delle distanze da percorrersi, soprattutto quando la strada di ferro, come tutte quelle che sono attualmente in Francia, è di una mediocre lunghezza. Organizzato che sia il convoglio e posto in moto, alcuni chilometri più o meno di cammino producono una leggerissima differenza nelle spese, e questa perde ogni importanza paragonandola alla spesa totale del viaggio.

Ma non si deve perdere di vista che lo scopo principale per cui furono create le strade di ferro, si fu di trasportare da un luogo all'altro e colla minor spesa possibile, grandi quantità di produzioni del suolo o dell'industria. E se in seguito risultati sui quali non si era fatto conto hanno fatto nascere l'idea di mettere a profitto dei viaggiatori una celerità fin allora sconosciuta, questo è un secondo vantaggio che è venuto ad aggiungersi e non a sostituirsi al primo. Vi sono nei nostri paesi molte località ove giacciono senza pro grandi masse di sostanze utilissime, il cui uso può essere determinato o facilitato dalle strade di ferro. In simili circostanze il guadagno che se ne ricaverà non sarà puramente limitato ad un'economia sul prezzo delle condotte; trasportando quei materiali nei luoghi ove la consumazione li esige, aumenteranno la ricchezza nazionale di tutto il valore del prodotto, e gioveranno a creare, per così dire, in ciascuna località l'alimento necessario alla sua industria ed ai suoi bisogni sociali.

Tal beneficio si estenderà in più vasta proporzione, e diventerà tanto più sensibile allorquando le strade di ferro, e le diverse macchine destinate a farne il servizio avranno ottenuto que'perfezionamenti, che un'esperienza troppo corta non ha ancor permesso di raggiugnere.

È agevole il farsi un'idea dell'incertezza che regna ancora negli spiriti sopra quanto concerne questa grave quistione, quando si osserva che alcuni capitalisti hanno diretto al governo dei progetti, coi quali sollecitavano le concessioni di grandi linee, mediante un pedaggio di 8 centesimi per ogni tonnellata di mercanzie a ciascun chilometro di distanza, e che quest'anno medesimo le camere legislative, dopo avere rifiutato al governo i fondi necessarj per istabilire queste linee, sotto la percezione di 7 centesimi e mezzo, hanno poi concesso le medesime linee ad alcune compagnie particolari al prezzo medio di 12 centesimi circa.

Non si deve dissimulare che fino a tanto che non si saranno adottate misure generali, regolari e precise; fino a che la legislazione sarà ondeggiante, lo sviluppo di questa industria sarà lento, e saranno in parte paralizzati i risultamenti che se ne possono attendere. È pertanto dovere al governo di prendersene serio pensiero, perchè ogni ritardo nuoce ai progressi. Ma per istabilire saggiamente le basi dei regolamenti da farsi su questa materia si avranno a riguardare le cose da un punto di vista elevato, si dovrà abbracciare la quistione in tutta la sua ampiezza, si dovrà sceverarla dalle minute considerazioni e dai riclami degli interessi particolari che vorrebbero prevalere sugli interessi generali.

Ne darò la ragione mediante un esempio:

Supponiamo che una compagnia intraprenda una strada di ferro il cui scopo sia di trapiantare, per così dire, una miniera di carbon fossile nel seno di una città popolosa e manifatturiera, o di trasportare il minerale del ferro o d'altro metallo in un gran centro d'industria, o di centuplicare l'uso dei prodotti del mare spargendoli prontamente e a basso prezzo nell'interno del continente, o di realizzare cambj di sostanze vegetali o minerali atte a fecondare il suolo, o a disporlo a ricevere nuove colture. Tali stabilimenti, come si scorge a prima vista, agirebbero nel modo il più benefico sulla prosperità di una nazione e sul ben essere degli individui.

Ma supponiamo che per effetto di regolamenti generali o delle clausole del contratto di concessione fosse

permesso a ciascuno d'innestare a questa strada i traversi, le vie di deviazione, o le ramificazioni utili al suo servizio particolare col semplice peso di pagare il pedaggio in ragione di 5000 metri qualunque fosse d'altronde la distanza che avesse a percorrere al disotto di questo limite Ammettiamo pure che questo salario fosse portato a 10 centesimi per ciascuna tonnellata e per ciascun chilometro di distanza, il qual prezzo è molto elevato per una strada che fonda la propria prosperità sul trasporto delle materie pesanti, ordinariamente di poco valore intrinseco. Se un proprietario s'immagina d'impiegare questo mezzo per mettere fra loro in comunicazione due stabilimenti contigui alla linea, e discosti l'uno dall'altro da 4000 a 5000 metri, potrà ogni giorno, ed anche più volte al giorno, per la lieve retribuzione di 1 franco, 50 centesimi al carro, costringere la Compagnia a venire ad eseguire il servigio per alcuni istanti sopra questa parte della strada. È inutile il particolarizzare la perdita che ne soffrirebbe l'intrapresa; ma è evidente che ne deriverebbero incalcolabili inciampi alla libertà del corso generale, che gli interessi della Compagnia ne sarebbero lesi, e che rinnovandosi poche volte simili vincoli sulla lunghezza della strada, ne assorbirebbero tutto il vantaggio. Basterebbe dunque la volontà od il capriccio di un certo numero di individui per rovinare l'intrapresa e per privare così tutta una città o tutto un paese d'un vantaggio forse indispensabile alla sua esistenza. In effetto, affinchè l'intrapresa possa prosperare, è d'uopo che l'ammontare totale del prezzo del trasporto delle mercanzie che scorrono l'intiera linea, od almeno una gran parte di essa, copra, prima di produrre alcun guadagno netto, non solamente le spese causate da tale trasporto, ma benanche le perdite derivanti dal servizio sui piccoli spazj; ed è evidente che tali perdite accrescendosi possono giungere prontamente a superare la cifra dei guadagni.

Si possono del pari applicare queste considerazioni nel caso in cui la tariffa di una strada di ferro non istabilisse prezzi variati in proporzione alle difficoltà locali che potessero incontrarsi sovra alcuni punti della linea. Un piano inclinato, per esempio, una pendenza continuata su tutto il cammino da percorrersi o su parte di esso, possono

duplicare o triplicare le spese di condotta, quando il convoglio sale.

Del resto, ciò succederebbe egualmente in tutte le circostanze particolari in cui il dippiù della spesa non fosse compensato dall'accrescimento del prezzo, e moltiplicandosi questi casi si verificherebbe una deficienza nel bilancio generale.

Nel trasporto dei viaggiatori poi non sarebbero meno collisi gli interessi della Compagnia, dallo stabilimento di troppo frequenti stazioni fra il punto della partenza e quello dell'arrivo, se il prezzo venisse determinato solamente sulle distanze percorse. Ma si potrebbero stabilire alcune stazioni principali nei luoghi in cui la perdita di tempo fosse compensata, sia perchè vi si rinnovellerebbero le provviste d'acqua o di combustibile, sia perchè si accosterebbe una città di qualche importanza. D'altronde par cosa convenevole, che pei viaggi di breve tratta, la Compagnia possa percepire l'intero salario stabilito in tariffa per tutto il trasporto fra le due stazioni. Una tale latitudine gli permetterebbe di stabilire dei prezzi atti ad indennizzarla del dippiù della spesa prodotta dai momenti di fermata: ma nel suo vero interesse dovrebbe tenerli ad un prezzo abbastanza modico per assicusarsi la clientela contro ogni concorrenza, e favorire, per quanto si può, l'aumento del numero dei viaggiatori.

Per conservare una guarentigia contro il monopolio delle Compagnie, si era voluto anche stabilire qual principio il diritto di libera circolazione: vale a dire che sarebbe stato lecito a chiunque d'evitare la locazione del materiale della Compagnia, servendosi dei proprj mezzi, e pagando il viaggio fatto sopra basi determinate. Se fossero state adottate tali misure, non sarebbero state che un inciampo gratuitamente messo al servizio, e null'altro effetto avrebbero prodotto che di ferire gli interessi della Compagnia senza profitto per il pubblico. Una tale condizione introdotta nell'atto di concessione avrebbe necessariamente fatto elevare i progetti a prezzi maggiori. D'altra parte gli interessi del pubblico troveranno una guarentigia assai più possente, poichè essi si collegano intimamente col successo medesimo dell'intrapresa: basterà che le Com-

pagnie abbiano avuto il tempo di convincersi che un prezzo modico può solo attirar loro le masse, e che le masse fanno la prosperità d'una strada di ferro, quando regolare e semplice ne è il servizio. Stabilita questa verità, il governo potrà riportarsi alle Compagnie stesse per la determinazione della tariffa.

La legislazione inglese, la quale per l'indole stessa della nazione s'identifica sempre colla prosperità dell'industria nazionale, erasi penetrata anche prima dell'esperienza di tutta l'importanza di queste considerazioni. Essa decise la quistione, senza aspettare l'esito di prove delle quali avea preveduto l'esito, ordinando che sulla strada di ferro da Darlington a Stokton non si avesse a pagare in alcun caso per qualunque breve tragitto un prezzo minore di quello competente al corso di 10 miglia inglesi, ossia 16 chilom.: la tariffa fissava inoltre un diritto di 6 *pence* ossiano 60 centesimi per il passaggio d'un piano inclinato. Ma d'altra parte, il diritto sul trasporto dei carboni fossili, che è l'oggetto principale di questo *rail-way*, fissato ad un *penny* per ogni *ton* e per miglio inglese ossia a 6 1/4 centesimi per chilom., è ridotto alla metà per tutti quei carichi che, percorrendo tutta la linea, vengono poi imbarcati a Stokton per essere esportati. Oltre ai prezzi di trasporto, la compagnia percepisce pel nolo de' suoi carriaggi un mezzo *penny* per *ton.* e per miglio: il diritto complessivo è dunque di 9c 37 per ogni tonnellata di carbon fossile che consumasi nel paese e di 6c 25 per ogni tonnellata che venga esportata. Mediante tali sagge misure il governo inglese ottiene il doppio intento di favorire l'aumento dei trasporti consentaneamente all'interesse della Compagnia, e d'incoraggiare, nelle viste proprie, l'esportazione dei prodotti del suo terreno e delle sua industria. Senza affermare assolutamente che la Compagnia di Darlington debba a tali condizioni il florido stato in cui si trova, farò nullameno rimarcare che questa è la sola strada di ferro di cui universalmente è riconosciuto il buon successo. È questo adunque un fatto che devesi prendere in seria considerazione dal governo e dalle Compagnie, quando si tratterà di determinare le basi di un' analoga intrapresa.

All'epoca in cui si accordarono in Francia le prime concessioni delle strade di ferro, non si conosceva che in modo affatto imperfetto l'organizzazione di tal genere di stabilimenti. Il governo credette, in via di precauzione, di riservarsi i mezzi di mettere più tardi a profitto le lezioni dell'esperienza. Lasciò quindi nell'incertezza tutti i punti sui quali non poteva dare leggi stabili con conoscenza di causa, ed in modo definitivo; perciò nel decreto regio che autorizza la costruzione della strada di ferro da Saint-Étienne a Lione, non si fa parola del trasporto dei viaggiatori, e si determinano solo i punti in cui debbono farsi i carichi. Unicamente più tardi, fu stabilito che in vigore di tale determinazione ne veniva qual conseguenza, a profitto della Compagnia, il diritto di percepire l'intero prezzo stabilito nella tariffa pel tragitto fra due di tali stazioni, per quanto corto fosse lo spazio percorso, e sebbene dapprima contestato tale principio venne di poi ammesso e posto in esecuzione come legge obbligatoria fra le parti. Più tardi il governo adottò, come diritto minimo di tragitto sulla strada di ferro da Parigi a San-Germano, quello corrispondente alla distanza di 6,000 metri. Forse è poco, ed io sono di parere che portandolo alla distanza di 10,000 metri si sarebbe trattata più equamente la Compagnia, senza nuocere agli interessi del pubblico.

Non tenterò di calcolare i vantaggi che ponno esser prodotti da una strada di ferro, da un canale, da una via ordinaria, fatto confronto colle spese; e nemmeno farò questo calcolo sia relativamente alla *canalizzazione* di un fiume, sia alla costruzione col mezzo dell'asfalto di una strada che potesse esser percorsa dalle macchine locomotive, nuovo genere di costruzione che probabilmente verrà collocato fra le utili invenzioni della nostra epoca. Simili confronti, il ripeto, nulla provano quando non ne sono stati precisati i termini; e per dar loro qualche valore, converrebbe tener conto di molte circostanze variabili all'infinito, sulla presenza delle quali non si può tempoco creare un sistema ragionevole di probabilità. Effettivamente allorchè si tratta di aprire

una via di comunicazione, il partito da prendersi dipende e dai bisogni che si hanno a soddisfare, e dalla disposizione della località, e dal prezzo delle materie prime, e dagli enti d'ogni specie dai quali si possa disporre: infine dal grado di civiltà e dallo stato morale delle popolazioni fra le quali e per le quali la via deve essere aperta. Ordinariamente non si sa, a meno che non siasi fatto uno studio speciale sul luogo, quali grandi differenze esistano talvolta fra due paesi i quali fisicamente sono poco discosti l'uno dall'altro; fra due popolazioni i cui costumi ed usi sembrano essere a un dipresso eguali. Colui che fonda un'industria nuova per un paese, non deve mai omettere di esaminare preliminarmente tali oggetti. S'egli offende alcune abitudini, se urta senza riguardo contro alcuni pregiudizj, se non ha anticipatamente ed accuratamente calcolata la resistenza che troverà in questo genere di ostacoli, egli cammina fra due pericoli, dai quali è egualmente minacciato: o i suoi proggetti andranno interamente falliti, oppure alla minima circostanza impreveduta che venga a contrariare i suoi sforzi, sentirà l'opinione pubblica rovesciare sulla sua incapacità, sulla sua ignoranza, o sopra cause chimeriche, ma accusatrici, ciò che sovente niuna saggezza umana avrebbe potuto evitare.

### IV. Considerazioni sui progressi probabili dell'arte di costruire le strade di ferro.

La storia dei popoli ci mostra lo spirito umano sempre inquieto, sempre agitato, sempre ardente nel perfezionare ed aumentare i mezzi di potenza di cui dispone, o nel creare nuovi bisogni che cerca in seguito di soddisfare. Strascinato da un vago desiderio di dilatare i proprj godimenti e di raggiungere un meglio indefinito che sempre vede davanti a sè, l'uomo non può mai esser soddisfatto di ciò che possiede. Quando sappiamo moderarlo, tal desiderio è salutare e benefico, e ci spinge verso il progresso, ma se non lo conteniamo in giusti confini, ci precipita nello scoraggiamento; allora arriviamo al fastidio della vita, e lo troviamo pre-

cisamente in una tendenza che la natura ha posto in noi per renderci cara l'esistenza, mascherando sotto la grandezza della rappresentazione sociale la meschina importanza dell'individuo. A tal bisogno innato di godere va l' uomo debitore dello sviluppo delle sue facoltà e dell'attività della sua intelligenza: a tal bisogno ei deve i grandi concepimenti e le felici scoperte che si rannodano sotto un carattere speciale a ciascuna delle grandi epoche della civiltà e che distinguono nei fasti dell'umanità ciascuna delle fasi della vita di un popolo. La sazietà conduce l'anima volgare al suicidio, ma non ha sì perniciosa influenza sull'uomo di genio, o a meglio dire l'uomo di genio non la prova mai. Allorchè ei non trova alimento sufficiente alla sua nobile avidità, nelle cognizioni acquistate, nei fatti compiti, nello stato presente delle cose, allora egli si slancia in regioni ignote, interroga le possibilità e si appone allo studio di nuovi problemi. Ed alcuna volta con profonde combinazioni e coraggiosa perseveranza, ed altre volte con uno sforzo violento ed istantaneo del suo spirito, egli acquista al mondo una verità di più e una nuova scienza. Tra colui che vilmente soccombe sotto il peso d'uno sterile desiderio, e colui che per soddisfarvi genera e lega all'umanità qualche grande utile concepimento, la distanza è sì grande quanto quella che separa lo spirito dalla materia.

Le diverse facoltà dello spirito umano non si sviluppano in modo regolare e continuo, e non si potrebbe anticipatamente determinare in qual senso dirigeranno il progresso. Basta l'influenza di alcuni individui per strascinare le masse in una direzione affatto impreveduta. Se un oggetto diviene fortuitamente lo scopo delle meditazioni e delle ricerche di alcuni uomini superiori o per scienza o per rango, bentosto spinti da quello spirito d'imitazione che forma la base del nostro carattere, tutti gli altri ingegni vengono ad unirsi intorno ad essi. Queste tendenze diverse che isolatamente s'insinuano in alcune porzioni della società, imprimono ai popoli un aspetto ed uno stato morale particolare, ed influiscono in modo sensibile alle relazioni di potenza e di fortuna fra loro esistenti.

Non è facile lo scernere le cause che agiscono sul movimento sociale. Perchè la massa si metta in moto bisogna che gli spiriti sieno stati lentamente predisposti, bisogna che anteriormente sieno state sparse alcune idee analoghe alla nuova direzione che si vuol loro imprimere. Ma dato l'impulso, il movimento continua e si accelera; e spesse volte diviene impossibile di regolarlo e contenerlo; e spesse volte la massa agitata sorpassa il limite, e s'avanza lungo tempo ancora senza prendersi cura del punto ove sarà per giugnere. A questa guisa nelle rivoluzioni politiche il popolo sollevato contro un potere tirannico, esaurisce il superfluo della sua forza, ed il resto della sua collera contro i monumenti delle arti e delle industrie; a questa guisa la nazione che ha preso le armi per respingere il nemico dalle sue frontiere, passa dalla difesa all'attacco, dalla resistenza alla conquista.

Il secolo ora scorso vidde nascere dopo l'immortale Newton una folla d'uomini che dotati di minor genio hanno però contribuito ad illustrare quell'epoca tanto segnalata per le scoperte che hanno arricchito le scienze e soprattutto l'astronomia fisica. Ma dopo aver creato l'arte di calcolare le circostanze dei fenomeni naturali di cui avevano sorpreso il secreto, non poterono che sfiorare la materia; e in questo stato la trasmisero ai loro successori, che volsero tutta la loro intelligenza a penetrarne le profondità. Infine questa scienza ci è giunta spogliata dai suoi misteri, ed esaurita dai grandi matematici che ci hanno preceduto; ma essi non ci hanno trasmesso che un campo dissodato.

Quelle ricerche sulle quali per due secoli si era concentrato tutto l'ardore degli spiriti erano per noi cose già acquistate. L'alimento venne a mancare alle intelligenze: bisognava loro un nuovo scopo; allora il pensiero si rivolse a risolvere tutte le quistioni che si riferiscono ai bisogni più semplici ed usuali della società. Ma i pensatori si sono abbandonati alla scienza speculativa: han composto libri pieni di astrazioni, ed hanno trascurato di scendere allo studio materiale dei fatti, la cognizione dei quali può unicamente rischia-

rare la pratica. Epperciò i pratici trovarono i loro libri o troppo al dissopra della propria portata, o troppo filosofici ed eruditi per consultarli. Si accostumarono quindi a riguardare la teoria come inutile ed anche spesso come contraddicente alla pratica; e questo stato di guerra manifestatosi in Francia al momento in cui le idee industriali cominciarono a spargersi ed a rendersi popolari, ha singolarmente ritardato lo sviluppo dell'industria. I capitalisti intraprendenti, che ravvisavano nelle utili speculazioni un mezzo d'aumentare la loro fortuna, comprendevano bene che il concorso della teoria colla pratica era indispensabile a far riuscire i loro progetti, si sforzavano a conciliare quelle due scienze che devono illuminarsi l'una dall'altra; ma i loro sforzi furono rare volte felici, e parecchie volte a chimeriche speranze corrisposero grandi decezioni.

Il tempo e l'esperienza hanno cominciato a modificare tale stato di cose. L'Inghilterra ci avea dato l'esempio limitandosi ad arricchire le sue industrie di tutti i saggi e di tutte le scoperte pratiche uscite dalle officine dei suoi artigiani; tal modo fu adottato in Francia, ed allora si ottennero grandi successi. Oggi l'impulsione si è comunicata a tutto il mondo incivilito, e l'industria cammina a grandi passi per una via ascendente di cui niuno può prevedere la durata ed il fine.

Le strade di ferro furono una delle opere più meravigliose della nostra epoca. Si dura ancora fatica a famigliarizzarsi con quella incredibile celerità che strascina i viaggiatori senza lasciar loro il tempo di rendersi conto dello spazio che percorrono. Forse ciò che non è meno sorprendente si è la temerità dei primi che si sono affidati a quei terribili motori. Ma l'influenza dell'esempio è miracolosa. Ciò che nessun uomo isolato avrebbe osato, dieci insieme lo tentano. Ogni vettura racchiudeva un certo numero di compagni che s'incoraggivano reciprocamente, e scordavano che il minimo sconcio di quelle possenti macchine sarebbe stato per tutti il segnale di una morte terribile e quasi inevitabile.

La realizzazione di quelle meraviglie dell'industria, e quella specie di felice contagio che s'impadroniva di tutta

le classi, agitava tutte le immaginazioni ed occupava tutte le menti, svegliarono in un'altra sfera un'attività non meno grande. Tutti quelli che erano divorati dalla sete delle ricchezze, allettati da alcuni seducenti esempi e da alcune fortune rapidamente acquistate, credettero che fosse venuto il momento di ottenere il loro scopo, e che bisognasse ad ogni costo afferrare l'occasione. In tutto ciò che accadeva ogni giorno sotto ai loro occhi, il loro spirito errante non vedeva che avvenimenti precursori d'avvenimenti ancora più meravigliosi, che eglino si credevano esser destinati a far sorgere: proclamavano come miracoli novelli i vôti concepimenti, schiacciavano la nascente industria sotto una moltitudine di progetti notevoli per combinazioni avventate, o per idee stravaganti, quando non fossero eziandio riprovevoli per mala fede ed improbità.

Sembra che il pubblico, balestrato da decezioni in decezioni da speculatori per lo meno imprudenti, avrebbe dovuto rapidamente acquistare un'educazione industriale, e farsi pratico a distinguere in tanto caos di beni e di mali gli uomini ed i progetti che meritassero la sua confidenza. Ma sfortunatamente l'intelligenza umana non procede di questo modo, e l'esperienza ci insegna pur troppo che i falli di coloro che ci hanno preceduto o che ne circondano sono per noi inutili lezioni. Lo spirito, sempre lusingato da ciò che gli sembra meraviglioso, e naturalmente poco disposto a riflettere, preferisce di lasciarsi abbagliare dai risultamenti che lo seducono, anzichè affaticarsi nell'esame circospetto e minuto d'un progetto. D'altronde quest'assunto rende necessario lo studio di scienze che ci sono estranee, la cognizione profonda di cose a noi superficialmente note, indagini penose e calcoli complicati. L'uomo indietreggia all'aspetto di sì dure condizioni; edifica in masse, e tutto ad un tratto senza fermarsi alle particolarità, vuol goder presto senza cura e senza lavoro. Dalla fecondità dell'immaginazione si vuol trarre la risoluzione improvvisata dei problemi i più ardui, e si guardano con occhi di commiserazione quegli spiriti lenti e pesanti i quali concepiscono timidamente un sistema in molti

anni di fatica e di esperienza. Se non si ricusa a questi il pregio della profondità ed un certo tal qual merito, si fa almeno ben poco caso della loro prudenza meticolosa posta a confronto coi tratti di luce che si crede ad ogni istante di vedere scaturire dal proprio cervello.

Sono ben strane codeste illusioni. L'uomo, che è debole, quando è isolato, ha bisogno, per produrre alcuna cosa, del soccorso del tempo e dell'ajuto de' suoi simili. Spesse volte una scoperta notata in poche parole nelle pagine delle storia è nata e si è maturata lentamente attraverso a discussioni e contraddizioni la cui durata ci sembrerebbe inesplicabile. E ciò nondimeno intendiamo ogni giorno proclamare pretese innovazioni, ciascuna delle quali dicesi destinata a cambiare il nostro stato sociale. Ma veggendo quasi tutte queste brillanti promesse degenerare in aborti, vedendo le decezioni succedersi le une alle altre, si comincia a deplorare l'accecamento che precipita in false vie gli uomini dotati di una tal qual attitudine, i quali se fossero ben diretti, ed applicassero la loro intelligenza a soggetti più conformi al loro reale ingegno, avrebbero potuto soddisfare a qualche bisogno della società; e la loro parte sarebbe stata bensì più modesta, ma però meno inutile e fors'anche meno perniciosa.

Se le grandi scoperte corrispondono rare volte ad un bisogno sociale anticipatamente riconosciuto ed analizzato, non accade lo stesso del perfezionamento delle cose esistenti, che quasi sempre forma l'oggetto di sforzi diretti e sostenuti. Gli uomini d'ingegno che vi consacrano il loro tempo, le loro fatiche, le loro meditazioni, le loro indagini acquistano anch'essi diritti incontestabili alla pubblica gratitudine. È vero che spesse volte mentr'essi con generosa perseveranza cercan di giugnere allo scopo, restano ignoti al loro paese ed ai loro contemporanei; ma quando pervengono ad effettuare qualche reale miglioramento si assicurano una gloria durevole: la posterità conserverà e venererà il loro nome, mentre fin d'ora non si nutre che disprezzo per quei pretesi facitori di prodigi che per un momento riescono a deludere la pubblica credulità.

Non si deve tuttavia dissimulare che tale mania delle invenzioni e tali sforzi per quanto vaghi ed ingannevoli sieno, tale ostensibile tendenza degli spriti inquieti, influiscono sulla disposizione della massa e le imprimono un moto favorevole al progresso delle idee e delle cose. I prudenti osservatori raccolgono direi quasi il riassunto e la sostanza di quegli avventurosi tentativi, riuniscono i fatti, li mettono in ordine e li confrontano; e fra tutti scelgono quelli che possono giovare all'adempimento dei loro proprj progetti. Classificandoli e spogliandoli di ciò che vi aveva aggiunto l'entusiasmo o la ciarlataneria, arrivano quasi sempre ad assegnar loro un certo grado di utilità applicabile ai progressi della scienza e dell' industria. Un tal risultato non corrisponde invero alle stravaganti promesse dei pretesi inventori; ma non ne viene ad essi attribuito l'onore; e d'altronde eglino avrebbero troppa ambizione e non sufficiente criterio per accettare tale subalterna lode.

La sfrontatezza delle idee esercita talvolta anche un'azione diretta in un senso più fortunato e più fecondo, contribuendo ad ingrandire il campo delle meditazioni di certi uomini, il cui sguardo non avrebbe osato investigare problemi troppo azzardosi. Perchè vi sono alcuni spiriti prudenti e positivi, i quali accettando per limite della propria potenza la combinazione degli elementi già acquistati dalla scienza, si fanno una legge di non tentar nulla al di là. Ma quando si è rotta loro la sbarra e si sono gettati sopra un più vasto terreno, danno sfogo a tutta la loro immaginazione, ed è raro che non pervengano a qualche buon frutto.

All'istante che si cominciò a prevedere quali meravigliosi risultati si potevano ottenere dalle strade di ferro, sorse un'ammirazione ed un entusiasmo generale. Tutti gli uomini speciali strascinati in questo slancio rivalizzavano di zelo, ciascuno voleva guadagnarsi una parte della riconoscenza pubblica, si lavorava a correggere i difetti, a perfezionare i mezzi di esecuzione, a sostituire agli istromenti usitati altri istromenti esenti dai vizj riconosciuti nei primi. La riunione di tanti sforzi ha recato preziose riforme, ma tutto non è ancor fatto, e non v'è persistenza che basti nelle indagini da farsi.

Le strade di ferro hanno subíto la legge comune a tutto ciò che è creato dal genio degli uomini: desse non sono nate in istato perfetto: sono per così dire macchine complesse nelle quali l'armonia del tutto insieme è subordinata alla perfezione relativa di ciascuna delle sue parti, e questa armonia è ancora molto incompleta. Ma come avvenne in tutte le creazioni delle arti industriali; come gli stabilimenti nei quali si lavora il ferro, le filature di cotone, e cento altri rami d'industria hanno subíto in pochi anni modificazioni inattese ed incredibili; come le macchine stesse che agiscono sulle ruotaje hanno avuto esse pure un' infanzia, e sono state ammirate come un'idea, prima di essere ammirate per la forza e facilità del loro movimento; così sarebbe cosa insensata il non isperare dalle strade di ferro nell'avvenire vantaggi molto maggiori di quelli che si ottengono oggigiorno.

La quistione primaria e capitale da risolversi dall'ingegnere destinato a disegnare una strada di ferro si è quella di determinare a qual limite debba esser confinata la spesa per assicurare alla Compagnia, nel rapporto economico, i maggiori guadagni possibili. A questo fine gli è d'uopo soprattutto di conteggiare esattamente qual sarà la quantità e la natura delle materie trasportabili, poichè quanto più tale quantità sarà considerevole tanto più dovrà esser perfetto il disegno, e tanto più la strada dovrà esser facile a praticarsi. In questo caso, un aumento di spesa nella prima costruzione riescirà di economia nell'intrapresa. In fatto sopra una via comoda e solidamente stabilita le spese giornaliere saranno minori ed il movimento potrà essere più considerevole. Bisognerà dunque tutto combinare in tal guisa che la diminuzione delle spese di condotta, e l'eccedente dei ricavi del trasporto compensino o sorpassino l'interesse della somma più spesa per ottenere una strada di ferro più perfetta. Il problema è molto più complicato allorquando la strada di ferro deve trasportare in concorrenza e mercanzie e viaggiatori. Allora bisogna far entrare nel calcolo la possibilità d'aumentare il numero dei viaggiatori se il servizio si eseguisce con rapidità e sicurezza. D'altra parte

se la massa dei trasporti d'ogni natura è determinata da condizioni positive ed invariabili, e che non vi sia alcuna probabilità che un servizio più o meno perfetto possa cagionare alcuna notevole differenza negli introiti, diviene evidente che bisognerà sacrificare la perfezione all'economia: bisognerà quindi restringere le spese in modo di ottenere ancora il risultato finale più vantaggioso, locchè in tesi generale può formularsi come segue: che l'interesse della somma impiegata alla costruzione, aggiunta alle spese dell'uso, della manutenzione e del rinovellamento del materiale, componga il minore totale possibile, relativamente a tutti i vantaggi riuniti sui quali si può contare in quel caso paricolare.

Il sistema generale delle macchine che hanno il vapore per principio di movimento, e per conseguenza delle macchine locomotive è sul punto di subire una rivoluzione. Ogni giorno le basi sulle quali si edifica il nuovo sistema vengono meglio studiate ed acquistano maggior consistenza.

Da parecchi anni si è osservato che del calorico impiegato a ridur l'acqua in vapore e ad alzarne la temperatura, una picciola parte soltanto diveniva utile nella produzione della forza che quelle macchine impiegano nel servizio dell'industria, ed alcuni saggi fatti in grande hanno già confermato le sapienti teorie dalle quali furono generate quelle osservazioni.

Per dare un'idea del principio sul quale riposerà il nuovo genere di macchine, farò osservare che le macchine a fuoco essendo messe in moto dall'acqua trasformata in vapore che si deve poi continuamente spandere nell'aria, o condensare coll'acqua fredda dopo essersene serviti, vi è in ciò un dispendio inutile di calore. E poichè l'esperienza ha dimostrato che la quantità di calorico necessario ad innalzare un gas qualunque ad un certo numero di gradi è grandemente inferiore a quella che occorre per ridur l'acqua allo stato di vapore, ed alzar questo vapore allo stesso grado di tensione e di temperatura, se ne è ragionevolmente conchiuso, che se per i medesimi usi si potesse sostituire un gas permanente al vapore dell'acqua, si otterrebbe un'economia considerevole.

Egli è un argomento inesauribile di ammirazione il vedere l'industria e le risorse di ogni specie svilupparsi in una proporzione costantemente eguale a quella dell'accrescimento progressivo dei nostri bisogni, ed il vedere nuove scoperte venir sempre nel momento opportuno a riempire le lacune le quali sembrerebbe che dovessero rallentare il progresso della civiltà. In tal modo, l'arte di produrre il ferro col carbon fossile fu trovata quando già gli uomini domandavano a sè stessi con inquietudini quanto tempo ancora le foreste potrebbero bastare a sì enorme consumo. E se calcoliamo in oggi quanti secoli ci vorranno per esaurire tuttociò che le miniere possono somministrare di combustibile, il geologo ci risponde che a poca distanza dalla superficie del suolo si trova un focolare inesauribile di calore di cui non dispera di poterci un giorno abbandonare il libero e compito godimento.

Per quanto concerne le strade di ferro non è irragionevole il presumer che l'aumento considerevole dei viaggiatori e delle mercanzie essendo a vicenda effetto e causa del loro graduale perfezionamento, esse arriveranno per una serie di riforme operate in tutte le loro parti ad un tale stato di cui le costruzioni attuali non permettono tampoco di concepire l'idea. All'invenzione delle strade di ferro tenne dietro l'invenzione o l'attivazione di mezzi meccanici ed anche di parecchie arti nuove destinate ad agevolarne l'uso. Tali progressi dai quali non si ritrae ancora che un vantaggio più o meno limitato subiranno senza dubbio col tempo preziose modificazioni. È ben possibile, per esempio, che si giunga ad estrarre e spostare assai facilmente e con poca spesa grandi masse di terre e di rocce, che si giunga a stabilire strade di una grande elasticità che affievoliscano le scosse risentite dalle vetture e dalle macchine nel loro corso e che diminuiscano considerevolmente la deteriorazione delle ruote e delle ruotaje non che la possibilità dei sinistri.

Quando questi problemi siano risoluti si potranno forare le montagne, colmare le valli, si potrà raddrizzare il corso dei fiumi, scavando il loro letto, ed aumentando le

loro acque, disegnare lunghe linee rette o curve d'un immenso raggio, mantenendole ad un livello costante. Sarà facile ancora il dare alla sede di una strada di ferro quella larghezza che si vorrà, e l'effettuare i trasporti con celerità, facilità ed economia tanto superiori a quelle che si ottengono al dì d'oggi, quanto i mezzi dei quali ci serviamo ora sono superiori a quelli che s'impiegavano un secolo fa.

Ma per determinare il rapido compimento di tali perfezionamenti che non possiamo ora se non timidamente prevedere, è necessario che una giudiziosa sollecitudine, ed una protezione illuminata incoraggiscano gli sforzi degli individui; è d'uopo che una legislazione benevola imprenda a favorire ogni innovazione stabilita sotto una serie di fatti incontestabili ed appoggiata ad una teoria che riposi sopra i principj certi della scienza.

Piaccia ai governi di accettare questo nobile assunto, e troveranno la loro giusta ricompensa nella prosperità dei popoli. Non temano essi di accordare alcuni favori alle Compagnie nascenti e di stendere una mano soccorrevole a quelle che soffrono. Tai soccorsi amministrati a proposito e con discernimento renderanno il centuplo di ciò che avranno costato.

## CAPITOLO II.

### ESAME D'ALCUNE QUISTIONI PRELIMINARI

---

#### I. Doti che deve avere l'ingegnere incaricato di dirigere la costruzione della strada di ferro.

L'arte di disegnare le strade di ferro è ancor così nuova, sono ancora tanto incerte e variabili le regole e le esperienze pratiche dalle quali è diretta, che quegli il quale voglia seriamente studiarla, lungi dal potere adottare principj stabiliti di condotta, deve crearsi un metodo completo col sussidio delle proprie personali osservazioni. Per l'esecuzione degli altri lavori che si racchiudono nelle sue attribuzioni, l'ingegnere deve esser diretto da un codice di precetti matematici, tanto più preciso, quanto più ne è semplice l'oggetto, e quanto più l'uso fu lungamente esperimentato. Ma la moltiplicità delle condizioni necessarie per ben dirigere la costruzione d'una strada di ferro il picciol numero e la discordia dei saggi anteriori dai quali si potrebbe cercare di prender lume, fanno sì che sino ad ora sia un'arte del tutto eccezionale. Non avendo alcun maestro che gliela possa insegnare l'ingegnere, deve a ciò supplire colle sue indagini, colle sue meditazioni, colle sue esperienze e coi suoi viaggi.

L'intrapresa è per lui tanto più difficile e spinosa, quanto più l'applicazione pratica delle sue combinazioni si discosta dalla sfera delle cognizioni ordinarie; e per colmo d'imbarazzo ei deve subire il giudizio d'uomini ciascuno dei quali è versato in alcuna scienza speciale, e ciascuno dei quali non mancherà di ravvisare la riuscita del progetto come esclusivamente subordi-

nata a quel ramo di scienza ch' egli coltiva, facendo poco conto di qualunque cosa ad esso estranea.

Il finanziere terrà per certo che quando la Compagnia sia costituita, quando il capitale sia riunito, quando la concessione sia accordata, si possa riguardare la quistione come risoluta, e che del resto non possano sopravvenire nè ostacoli nè inciampi nè sinistri.

L'ingegnere parificherà i lavori da eseguirsi a quelli che si fanno per aprire una via qualunque, senza tener conto d'alcuna differenza di posizione o di bisogno.

L'uomo d'affari ridurrà tutta la difficoltà a ben applicare a pro d'una Compagnia particolare la legge delle espropriazioni per pubblica utilità, ed a regolar bene le trattative coi proprietarj.

Il meccanico non prenderà in considerazione altra cosa che la necessità d'impiegare una moltitudine di nuove macchine sconosciute, e di renderne famigliare l'uso.

Il commissionario speditore ed il negoziante crederanno che tutti gli imbarazzi si riducano all'organizzazione del servizio dei trasporti delle messaggierie, dei viaggiatori, degli introiti, delle spese, ecc.

Infine, seguendo un ordine decrescente, ciascun impiegato vedrà la riuscita dell'intrapresa circoscritta nel limite delle funzioni a lui affidate.

Ora tutti questi rami devono concorrere simultaneamente, e ciascuno per l' analoga sua porzione all' armonia del tutto insieme; esse d'altronde sono collegate fra loro, ma a tali condizioni che uomini speciali possono rare volte apprezzare.

Ella è dunque cosa di prima necessità che quegli il quale deve dirigere l'insieme delle operazioni non sia straniero ad alcune delle parti che vi contribuiscono: bisogna che egli abbia ben fissato il suo sistema, e che ne abbia reso regolare l'andamento facendo uso di tutte le molle che deve porre in moto: è d'uopo che sia dotato di gran fermezza e di gran coraggio, è d'uopo infine che egli abbia saputo anticipatamente situarsi in una posizione indipendente dagli uomini dei quali impiega i capitali. Quest' ultima precauzione è indispen-

sabile alla sua tranquillità ed alla libertà d'agire; e s'egli la trascura, le più insignificanti circostanze possono divenire per lui cagione di gravissima contrarietà. Il rifiuto che si facesse di un impiegato inetto che venisse presentato da un protettore, il quale in conseguenza si troverebbe offeso, una scelta che indisponesse quelli che ne rimanessero esclusi, le modificazioni che fossero imperiosamente comandate dalle circostanze, sia nei progetti, sia nell'impiego di alcuni capitali; il cambiamento di qualche agente fra quelli che difendono gli interessi del pubblico contro la Compagnia, e mille altri casi impreveduti gli arrecherebbero gravi fastidj. Allora, non solamente il suo spirito spiacevolmente distratto perderebbe una parte della sua potenza, ma benanche la sua posizione potrebbe essere seriamente compromessa. Il si vorrà restringere nei confini di una tutela rigorosa; i suoi sforzi saranno paralizzati da rifiuti, o da pretese arbitrarie; le sue intenzioni saranno male interpretate; il suo ingegno sarà posto in dubbio; fino a che si troverà egli finalmente sforzato ad abbandonare il frutto delle sue fatiche, e di tutte le sue speranze nelle mani d'un successore e bene spesso di colui i cui perfidi intrighi avranno occasionata la sua disgrazia.

In Inghilterra gli esempi di simili brighe sono assai meno frequenti che in Francia, perchè colà lo spirito di associazione è più intelligente e più maturo. Ognuno sa che impegnandosi in un'operazione che può recare grandi profitti, si devono accettare tutte le probabilità di non riuscita che possono occorrere. Allorchè rovesci, sinistri, o sfortunate circostanze vengono a deludere quelle combinazioni che si erano riconosciute per saggie o ad abbattere quelle speranze che si erano credute ben fondate, le Compagnie subiscono tali inconvenienti, e si sforzano a ripararvi. Ma si guardano bene dall'aggravare il male aggravando i loro direttori d'una ingiusta responsabilità, ed affrettandosi senza gravi motivi a rimpiazzarli con altri, dei quali dovrebbero con nuove spese pagare il tirocinio.

Noi giugneremo senza dubbio a dare alle nostre associazioni quel carattere di gravità che loro manca, e

a distruggere in noi quella puerile versatilità che ci fa rovesciar oggi per timor panico quella medesima intrapresa dalla quale jeri aspettavamo mirabili risultati. Per operare tal riforma nei nostri costumi, come anche per ben fissare a beneficio dell'avvenire i fondamenti di un'arte che è ancora nella sua infanzia, sarebbe opportuno a mio parere che tutti gli uomini che hanno presieduto a grandi intraprese industriali, e particolarmente tutti gli ingegneri che hanno diretto lo stabilimento d'una strada di ferro largissero al pubblico il frutto della loro esperienza. Fu per tale convinzione che io mi decisi a pubblicare quest'opera, nella quale mi limiterò ad esporre tutti gli studj che ho dovuto fare per creare la prima strada di ferro che sia stata in Francia dedicata al servizio pubblico.

## II. Degli impiegati.

La maggior parte delle persone che si sono trovate in una posizione analoga alla mia, hanno pensato che la direzione d'una grande intrapresa offrirebbe difficoltà minori se si fossero riuniti parecchi capi con egual grado di autorità per invigilarne le operazioni. Ma è cosa ben rara che in simil caso la buona armonia non venga presto turbata, ed è più rado ancora che gli uomini, qualunque sia il loro merito, rinuncino all'amor proprio in favore dello scopo cui tendono in comune. Perciò a meno che essi non si sieno già reciprocamente esperimentati con una lunga pratica, sarà, io credo, sempre più prudente il lasciare la direzione suprema nelle mani d'un solo. Si avrà allora più latitudine ed indipendenza nella scelta dei collaboratori ed impiegati, e quando l'ordine sia una volta stabilito vi sarà minor pericolo che venga turbato. Il capo, per poco che sia abile e benevolo, affezionerà a sè i suoi subordinati, studierà la loro capacità e l'indole del loro spirito; e se riconosce che non sieno stati posti in un impiego che convenga alle loro inclinazioni ed al loro sapere, ne assegnerà ad essi un altro. Per tal modo ciascuna specialità sarà ben diretta e ne risulterà ancora un altro vantaggio, che il

capo non esiterà mai a riconoscere la superiorità del suo subalterno nell'uno o nell'altro ramo secondario, mentre il suo amor proprio gli avrebbe vietato di riconoscerla in un suo eguale.

Le più importanti occupazioni del direttore unico consisteranno nell'invigilare il tutto insieme, nel farne andar d'accordo tutte le parti, nell'andare alla ricerca delle opportune indicazioni, nel discutere gli interessi generali e nel meditare infine i risultati che nascono dalla massa delle particolarità e che non ponno essere apprezzati se non da chi abbia mente molto esercitata. Non sarebbe ragionevole che egli attribuisse a sè stesso in ciascun ramo di mestiere, nel qual egli è appena iniziato, cognizioni eguali a quelle dell'uomo che vi è specialmente preposto. Convien dunque che egli si metta in frequenti relazioni coi suoi impiegati, che li riunisca spesso e che li esorti ad abboccarsi fra loro. Con tal mezzo le idee modificate le une dalle altre arriveranno a fondersi, e nell'ordine fisico i lavori eseguiti per un medesimo scopo non presenteranno nelle loro differenze la prova del dissentire teorico dei loro autori.

La fiducia che si accorda agli impiegati, la libertà d'agire, l'estensione del potere che loro si lascia in tutto ciò che non può alterare l'armonia, sono per il capo mezzi sicuri per renderli a sè affezionati. Troverà inoltre in ciò una guarentigia del loro zelo e della loro fedeltà; perocchè la negligenza o gli abusi di confidenza sono quasi sempre per parte loro la conseguenza del disgusto o dell'irritazione prodotta in essi dal credere che le loro intenzioni, la loro lealtà o il loro merito non siano stati conosciuti.

### III. Delle concessioni.

Diversi metodi sono stati successivamente finora adottati dal governo per regolare le concessioni dei lavori da esso fatte ai particolari ed alle Compagnie, ma l'esercizio pratico ha sempre fatto nascere mille contestazioni tra gli interessati diretti od indiretti e quelli che pel loro uficio giudicar doveano delle pretese di

ciascuno. Siffatti dibattimenti e l'importanza degli interessi dai quali erano suscitati fecero comprendere l'urgente necessità di una buona legge che chiaramente fissasse e garantisse i diritti dello stato, quelli del pubblico e quelli dei concessionarj. A più riprese se ne è trattato, diversi progetti furono presentati alla camera legislativa, che li ha discussi, modificati, accolti, respinti senza che lo stato delle cose abbia ottenuto un sensibile miglioramento. Da quelle discussioni si è più di tutto reso evidente che la materia non è stata ancora nè abbastanza meditata nè abbastanza conosciuta perchè si possa sperare di troncarne con una legge ben completa tutte le difficoltà. La quistione rimane adunque ancora da risolversi: ma si chiarisce coll'esperienza d'ogni giorno e non si deve deplorare una sospensione che permetterà al governo di circondarsi di tutte le indicazioni necessarie per pronunciare con saggezza ed equità.

La prima concessione di una intrapresa di pubblica utilità che sia stata accordata dal governo ad una società particolare è quella che io ottenni il 22 gennajo 1824 per la costruzione del ponte di Tournon sul Rodano. Ben lungi dal trovare negli ingegneri del governo quello spirito di opposizione, di cui furono in seguito tanto spesso accusati, io fui accolto nel modo il più incoraggiante da tutti i membri di quel corpo coi quali io dovetti entrare in relazioni. Potei anzi convincermi che il loro maggior desiderio si era di proteggere tutti quelli, i cui sforzi potessero essere utili al progresso dell'arte loro. Il conte de Villéle, allora ministro delle finanze, il signor Becquey, direttor generale dei ponti e strade, il signor Legrand, allora segretario della commissione dei canali, ed il signor Brisson direttore della scuola dei ponti e strade m'accordarono sempre benevola protezione. Esposi a quegli abili amministratori il tutto insieme di un sistema generale di comunicazioni che prima d'ogni altro io aveva concepito e che voleva cominciare a porre in effetto in Francia col costruire ponti sospesi e collo stabilire la strada di ferro da Saint-Étienne a Lyon. Compresero essi rapidamente e

sentirono che per entrare in questa nuova via e per attirarvi gli industriali ed i capitalisti, occorreva di accordare ai primi concessionarii condizioni larghissime. E non volendo leggermente pregiudicare ciò che l'esperienza sola poteva chiarire, rimisero a tempi posteriori lo inserire nei contratti quelle condizioni più severe delle quali fosse dimostrata l'urgenza. La difficoltà non venne quindi nè risoluta nè diminuita da loro: la lasciarono sussistere tutta intiera e la è ancora oggigiorno.

Si mostrerebbe poca sagacità pretendendo di troncare le difficoltà copiando le istituzioni straniere, per esempio, quelle dell'Inghilterra. Può darsi che fra due nazioni vi sia identità di bisogni, ma, non essendovi identità nelle leggi, nei costumi e nel carattere, ne consegue che si debba provvedere a bisogni analoghi nell'una e nell'altra nazione con mezzi bene spesso assai differenti. Lo spirito di una nazione tal quale è la Francia, non è sì facile a cambiarsi che vi si possano bruscamente innestare le costumanze inglesi. Perciò, benchè in Inghilterra pare che l'esperienza abbia dimostrato i vantaggi della concessione diretta, non consegue rigorosamente da ciò che tal metodo abbia a prevalere esclusivamente presso noi. La concessione diretta apre troppo largo adito all'intrigo, al favore, ai maneggi delle brigate e delle affezioni particolari. Sembra giusto al contrario che si riservino al vero merito tutte le probabilità possibili di farsi strada e prodursi. Se fosse necessario che si spingesse avanti da sè medesimo e che sollecitasse, il vero merito sarebbe quasi costantemente respinto, perchè non agirebbe od agirebbe mollemente, e non cercherebbe mai di trionfare per la via delle importunità. Che se la concessione è l'oggetto di concorrenza legale, e se la si accorda a quegli che si assume di usarne coi maggiori vantaggi per il governo e per il pubblico, la lotta s'impegnerà allora fra i sistemi ed i mezzi di economia, e tutti gli ingegni potranno concorrervi. Del resto, si sa che la concessione diretta ha suscitato in Francia vivissimi riclami. Molte volte fu accusata l'amministrazione pubblica di averne abusato sia per allontanare uomini dei quali si temeva che

per il loro soverchio potere nelle industrie invadessero tutto a pro di certi loro interessi, sia per favorire compagnie, il cui scopo si limitava evidentemente a guadagnar dei premj negoziando le azioni.

Conosco io pure che l'aggiudicazione pubblica ha pur essa i suoi inconvenienti, e che nel modo in cui si pratica non è possibile di allontanarne gli spiriti avventurieri ed entusiasti, nè i teorici visionarj che possono, soccombendo nel loro tentativo, screditare per sempre un'intrapresa di alta importanza.

Fra questi due estremi vi sarebbe io credo un mezzo termine atto ad evitare le difficoltà opposte fra loro: consisterebbe esso nell'ammettere alla concorrenza i diversi autori di progetti che volessero ottenere aggiudicazioni di lavori pubblici. Si esigerebbe da loro preliminarmente che giustificassero le qualità necessarie per discuterne ogni punto con un comitato tecnico costituito a tal effetto dalla pubblica amministrazione. Dovrebbero inoltre presentare una compagnia riconosciuta solvibile, che avesse fatto un deposito cauzionale e che avesse assunto l'impegno garantito, di condur a termine l'intrapresa quando le venisse aggiudicata.

Ma qui potrebbe presentarsi un'altra difficoltà. Probabilmente fra i diversi progetti esisterebbero discordanze troppo capitali perchè si potesse paragonarli gli uni agli altri. Per quanto a me pare, ecco come si potrebbe riparare a questo incoveniente. Il comitato, di cui ho detto, sarebbe incaricato di ricevere tutti i progetti concernenti i lavori d'interesse pubblico, a condizione che fossero accompagnati da piani e documenti atti a comprovare i serj studj fatti dai loro autori. Allorchè fosse giunto agli uficj del comitato un certo numero di progetti relativi alla medesima intrapresa e che per la posizione scientifica o sociale degli autori, come altresì per le considerazioni che avessero eglino sviluppate, il comitato rimanesse convinto che l'interesse pubblico ne consigliasse l'esecuzione, esso deciderebbe in massima che ne dovesse esser fatta l'aggiudicazione. Stenderebbe allora i capitoli dell'asta e sarebbe aperto il concorso con ammissione di ogni progetto il cui autore

soddisfacesse, in quanto alla sua persona, alle prescrizioni della legge. Tali prescrizioni potrebbero anche essere regolate in modo d'aumentare vieppiù le guarentigie della capacità. Si potrebbe, per esempio, imporre all'applicante di dover giustificare esser egli allievo della scuola politecnica o di qualunque altra che fosse indicata, o di aver egli subito un esame analogo a quello cui si sottomettono gli aspiranti al diploma di dottore in legge o in medicina.

Tali formalità e precauzioni potrebbero invero recare qualche perdita ai concorrenti esclusi, ma per compenso se ne ridurrebbe il numero a quelli che avessero il fermo desiderio ed i mezzi di riuscirvi. D'altronde si potrebbe, come fu già praticato in altre circostanze, obbligare l'aggiudicatario a corrispondere ai suoi concorrenti una indennizzazione proporzionata alla stima approssimativa delle spese che avessero incontrato per istudiare e redigere il loro progetto.

Conviene in tutti i casi che il concessionario abbia ogni possibile facilità per eseguire i lavori, e che, al disopra della latitudine precisa ch'egli avrebbe richiesta, gli si lasci ancora una latitudine facoltativa di cui possa disporre all'uopo, sia per vincere un ostacolo, sia per riparare un inconveniente, sia per migliorare, se vi è luogo, alcuna delle sue disposizioni. I proprietarj inglesi, che sono però gelosissimi dei loro diritti, ci offrono a questo proposito un bell'esempio di tolleranza, soffrendo l'applicazione dell'antica legge che autorizza fra loro le compagnie, finchè dura la costruzione di una strada, di allontanarsi dal disegno primitivo per uno spazio di 200 yards o sia 182 metri. Chiunque abbia diretto grandi lavori di tale natura deve riconoscere essere quel limite il più ristretto che sia indispensabile, se non si vuol rendere impossibile l'esecuzione. L'esperienza prova tutti i giorni che i piani da principio formati non possono quasi mai porsi in opera senza rettificazioni, qualunque sieno gli studj, le cure e la scienza con cui fuono combinati.

Infine mi sembra che potrebbe essere inutile il limitare la durata delle concessioni, mediante la revisione

della tariffa da farsi a lunghi intervalli e mediante la facoltà della ricompera cui dovrebbe riservarsi il governo. In ciò lo Stato non può che guadagnare. Effettivamente calcolando il valore della concessione al momento in cui la compagnia cesserà di averne il godimento e riconducendolo mediante lo sconto a quello dell'accordato possesso si verrà a rilevare che la fissazione di un limite non porta un pregiudizio considerevole. E tuttavia è questa una clausola che le compagnie rappresentano sempre come molto onerosa e della quale pretendono compensamento facendo più alte le loro offerte. Però qualunque sia la modicità del compenso che le compagnie giungono ad ottenere, sorpassa questo sempre di molto gli svantaggi che è destinato a coprire.

Egli è quindi pregiudizievole all'interesse generale il caricare i capitoli d'asta di tal condizione, come il sarebbe l'inserirvi una clausola che stabilisse il diritto del libero corso, o qualunque altro vincolo molesto alla compagnia senza utilità per il pubblico.

Insomma, la base essenziale di ogni sistema che vorrà favorire il rapido sviluppo dell'industria, dovrà essere, io credo, quella di fare alle compagnie che offriranno tutte le desiderabili guarentigie, *condizioni generose* sotto ogni rapporto. A tal proposito la Francia ha sopra l'Inghilterra il vantaggio di avere nel corpo dei suoi ingegneri un mezzo di vigilanza continua, attiva ed illuminata, per cui può affidarsi ad essi per prevenire ogni cattiva esecuzione. Sarebbe anzi da desiderare che il corpo degli ingegneri fosse posto alla testa delle intraprese particolari o nazionali. Il governo potrebbe allora incaricarli di grandi lavori a condizioni analoghe a quelle degli altri concessionarii, e tali sorta di speculazioni acquisterebbero presto una fama che influirebbe nel modo il più felice sulla prosperità della Francia.

### IV. Della espropriazione.

L'acquisto delle proprietà, sia di buon grado sia per via di espropriazione, è il primo e spesse volte il

più importante capo di tutti gli atti di una grande intrapresa. Dacchè le compagnie particolari furono ammesse dal governo ad eseguire lavori di pubblica utilità, la loro situazione in faccia agli interessi privati ha assunto un carattere deplorabile. I proprietarii ai quali esse domandano la cessione dei loro terreni si fanno generalmente un merito di tutte le angherie che possono esercitare contro di quelle; ed eccitati da un meschino sentimento di gelosia, e più spesso dal desiderio di approfittare della necessità in cui si trovano, non si fanno alcun scrupolo di metterle a contribuzione in modo esorbitante. Tale ostile disposizione, che si è sparsa in tutte le classi della società, obbliga le compagnie a pagare gli acquisti ad un prezzo che sorpassa tuttociò che si poteva immaginare. È questa una delle principali cagioni degli abbagli in cui le compagnie sono cadute per la maggior parte nel calcolare la cifra probabile delle loro spese. Quand'io nel 1825 formai un primo abbozzo delle spese della strada di ferro da Saint-Étienne a Lione, il signor Brisson, allora direttore della scuola dei ponti e delle strade, non avendo, più di me, un'idea dei vincoli che l'adozione delle grandi curve apporterebbe al tracciato, pensò che sovra 60000 metri la linea occuperebbe circa 60 ettari di terreno, i quali sarebbero costati meno di 120000 franchi. Ma egli mi consigliò a calcolare pel relativo acquisto, ond'essere certo che la stima non sarebbe superata dalla spesa, la somma di 600000 franchi, vale a dire il doppio di ciò che ne sarebbe costato allo Stato in eguali circostanze. Tuttavia, atteso che principalmente in quell'articolo il mio preventivo poteva mancar di certezza, giudicai essere cosa prudente il raddoppiare ancora quella somma e la portai ad 1200000 franchi. Ad onta di sì grande latitudine, la quale sembrava fin troppo esagerata, la mia previdenza restò tanto al dissotto della realtà, che al 31 dicembre 1835 la spesa effettuata ammontava già a 3633300 franchi.

Per dare un'idea della posizione in cui allora mi trovava, e delle difficoltà che mi venivano suscitate, basterà che io citi un brano del rapporto da me fatto il 20 ottobre 1829: « Tutto ciò che potreste immaginare, o

signori, intorno alle pretese dei proprietarj e dei Comuni sarebbe al dissotto della verità: un funesto pregiudizio universalmente sparso in tutto il paese in cui si eseguiscono lavori fa credere che tutte le volte che siavi contestazione fra un particolare e una compagnia, gli interessi di quest' ultima debbano essere spietatamente sacrificati. Tale opinione, della quale non possono spogliarsi i periti, e nemmen quelli nominati da noi, rende assolutamente nullo il voto della legge, la quale, esigendo in certi casi dai particolari la cessione delle loro proprietà, ha voluto che la massa di cui fanno parte trovasse in altri vantaggi il giusto compenso di tal sacrificio. Ma ben lungi dall'essere un sacrificio, tal necessità diviene quasi sempre per essi un mezzo di saziare la loro ingorda cupidigia ».

A quell'epoca tutte le compagnie anonime che si erano formate nei contorni di Saint-Étienne erano giunte allo stremo di mettersi in liquidazione, od almeno erano in tale stato di decadenza da doversene presagire la rovina. L'opinione generale su cui potentemente influiva la ricca e possente compagnia del canale di Givors era concorde nel considerare il progetto della strada di ferro fra Saint-Étienne e Lione come un'impresa insensata che non condurrebbe ad altro se non ad assorbire un ingente capitale in lavori che non giungerebbero mai al loro termine (1). Ogni proprietario cui era chiesta la cessione di un terreno credeva di esser sottoposto ad una vessazione senza scopo e senza utilità per chicchessia: credeva quindi di rendere un gran servizio tanto a sè stesso che agli altri facendo ogni sforzo per attirare a sè una parte del fondo sociale della compagnia, e così assorbirlo più presto che fosse possibile. Le pretensioni non avevano più limiti, e ridicoli motivi sembravano sufficienti ad autorizzarli. L'individuo a cui si prendeva un cantuccio di sotterraneo per praticare un foro sotto un angolo della sua casa, non arrossiva nel chiedere seriamente una indennizzazione di 300000 franchi, vale a dire parecchie volte il valore dell'immobile tutto intiero.

(1) *Lettere sulle strade di ferro*. Poussielgue, Rusard; Lyon 1827 pag. 32.

Un altro faceva valere il danno che la nuova strada cagionerebbe alle sue proprietà posta a qualche distanza dall'antica via. Altri elevavano in tutta fretta simulacri di costruzioni nei luoghi destinati al passaggio della linea; finalmente la grave compagnia del canale di Givors portava avanti ai tribunali una domanda di indennizzazione per il probabile pregiudizio che le recherebbe la concorrenza della strada.

È facile il comprendere che i giudici, seguaci dell'equità, circondati da un'opinione così pronunciata e così generale, molestati da tanti interessi diversi, collegati allo stesso fine, hanno potuto, senza accorgersene, divenire ingiusti verso la compagnia la quale non avea per sè se non un diritto attaccato da tutti. In molte circostanze, uomini scelti da noi, e dei quali onoriamo sempre la rettitudine ed il carattere, si sono lasciati strascinare sotto lieve pretesto a stimare alcuni enti il decuplo del loro valore eminente. E tali decisioni furono di gran soccorso agli uomini d'affari allorquando sostenevano avanti i giudici stranissime pretensioni.

Pure, in mezzo a tanti inciampi e pericoli, quella compagnia che consacrava un capitale enorme per risolvere una grande quistione di economia industriale, ebbe dal governo un formale rifiuto a tutte le domande di soccorso che fece; e ciascuno teneva per certo, che, abbandonata da tutti, fosse destinata a sprofondarsi con una clamorosa catastrofe. Invano essa domandò a vicenda la remissione delle tasse di registro e di procedure; un leggero aumento alla sua tariffa nella discesa; la remissione, almeno temporaria, della tassa del decimo sul prezzo dei posti dei viaggiatori, favore che si credette in seguito dover essere per diritto conceduto: tutto ciò le venne ostinatamente ricusato. La compagnia rappresentò le circostanze disastrose nelle quali si era trovata, cui nessuna ragione umana dovea nè poteva prevedere, ma le fu risposto tornar meglio il lasciar perire una compagnia, che recare la più leggiera offesa ad uno di quei principj il cui obblio avea cagionata una rivoluzione.

Però, se in questo caso speciale il governo abbando-

nava una compagnia al destino di una caduta imminente, l'attenzione di lui venne risvegliata intorno all'insufficienza della legislazione che produceva un tale guai. Cercò egli quindi di dare alle compagnie guarentigie più efficaci, mediante una nuova legge intorno all'espropriazione che dovea riformare quella del 16 settembre 1807, e dell'8 marzo 1810. Ma la legge del 7 luglio 1833 non è forse pur dessa peccante sotto altri aspetti? E non si è forse avuto torto modellandola sugli usi dell'Inghilterra?

I tribunali, che avevano potuto errare nell'applicazione di una legge nuova ed in circostanze da essi poco conosciute, avevano alfine compresa la vera posizione delle parti. Le indennizzazioni che aggiudicavano erano larghe invero, ma erano tuttavia fissate con un discernimento ed in un modo abbastanza regolare perchè si potesse valutare anticipatamente con qualche certezza siffatta parte della spesa. Le compagnie avevano benanco potuto convincersi, sulle ultime decisioni della corte reale di Lione, che i loro interessi sarebbero trattati sullo stesso piede di quelli degli altri cittadini. Una sol cosa restava a desiderarsi ed era urgente: l'articolo della legge che prescriveva che l'indennizzazione fosse accordata e fissata prima dell'occupazione del terreno metteva le compagnie intieramente a discrezione dei proprietarii: bisognava riformarlo, e nulla impediva ch'ei si modellasse sulla legge inglese. Se si fosse stati paghi a questa modificazione indispensabile ma sufficiente non si sarebbe reso necessario un nuovo tirocinio che potrà ancora essere funestissimo alle compagnie.

Sarebbe un errore il credere che la cosa la più importante per una compagnia in una legge sulle espropriazioni, sia la diminuzione della cifra delle indennità. Ciò che esse più di tutto dimandano, si è che la fissazione di tal cifra sia regolata sopra condizioni abbastanza fisse e positive perchè se ne possa anticipatamente fare il calcolo approssimativo e farlo entrare nella previsione delle spese, senza aver a temere un errore troppo considerevole.

Quando un proprietario è turbato in quelle abitu-

dini delle quali si è fatto un bisogno; quando è spossessato bruscamente d'un podere ch'egli veniva da molti anni con molta cura adattando al proprio genio ed ai suoi disegni, è di tutta giustizia ch'ei ne riceva non solo il prezzo assoluto, ma benanco un compenso ragionevole. Perciò non fui sorpreso nel vedere accordata al proprietario di una casa che venne attraversata dal foro praticatosi dalla Mulatière a Lione la somma di 30,000 franchi a titolo di indennizzazione pel disturbo arrecato alle sue abitudini; del resto quest'era appunto il decimo di quanto egli avea domandato. In quanto alle compagnie, esse non hanno diritto di protestare contro questo principio, poichè, per quanto le concerne, tutte le conseguenze che ne derivano si limitano ad una anticipazione più o meno considerevole di fondi, giacchè, in ultima analisi è il pubblico che vien sostituito al godimento dei diritti del proprietario, ed è il pubblico che paga.

Io temo che la nuova legge la quale fa decidere dai giurati tutte le contese relative alle indennizzazioni non arrechi tutti quei vantaggi che se ne erano ripromessi. Il commettere ai giurati di pronunciare sulla vita di un uomo è un modo di offrire alla società e all'individuo una guarentigia di giustizia. Posto fra l'accusato e la legge, il giurato non soggiace all'influenza di alcun umano riguardo, ed, isolato in sè stesso, la sua coscienza gli detta la decisione che da essa ricerca. Quando adempie sì nobili funzioni, l'uomo dovrebbe ingrandirsi secondo la sua missione; eppure si sa con qual trascuranza e con qual leggerezza ei ben spesso la compie! Avrassi dunque a sperare che metta più zelo ed altrettanta imparzialità quando non avrà ad essere che arbitro fra pretensioni contradditorie? Si crederà forse che cittadini distolti ai loro affari per decidere le contestazioni di una compagnia, alla quale non prendono alcun interesse, vi recheranno tutte le disposizioni d'animo convenevoli? Si crederà che essi siano meno dei giudici capaci d'essere influenzati, e che posti fra pretensioni ostili saranno meno che i giudici dominati dalle affezioni, dalle antipatie, dai pregiudizii, dai riguardi e da tutte quelle im-

pressioni che ci dominano spesso a dispetto del diritto e della giustizia? Qual superiorità infine potrà loro accordarsi sopra i giudici, che per abitudine stannosi in guardia contro la parzialità, e che stanno lì sempre seduti in permanenza, pronti a decider sull' istante nei casi urgenti? V'hanno poi inoltre quistioni, per esempio, quelle di competenza, cui i giurati non possono troncare, e le quali potranno ad ogni istante inciampare l'andamento degli affari; faran correre le parti da una giurisdizione all' altra, e riserveranno alla perfine ai tribunali quelle contestazioni che se ne sarebbero volute staccare.

L'irritazione, eccitata dalle prime concessioni accordate ai particolari, s'infievolisce di giorno in giorno: quelle sì ostinate difficoltà che s'incontravano nel far accettare siffatto modo di occupazione si vanno gradatamente togliendo. La grande importanza dei lavori già eseguiti dalle compagnie farà sì che ben presto il loro diritto di espropriare sia assomigliato a quello che lo Stato esercita in circostanze anologhe. Tutto permetteva adunque lo sperare che ben presto la condizion delle cose si sarebbe resa abbastanza regolare perchè le previdenze intorno al costo delle indennizzazioni potessero acquistare un grado sufficiente di certezza.

La Francia a questo proposito trovasi in una posizione ben più favorevole di quella dell' Inghilterra. Le proprietà, che sono fra noi disseminate in tutti le classi, cambiano spesso di padrone, e secondo le nostre leggi non possono più ricomporre quei feudi od appanaggi, cui, per punto d'onore, le famiglie volevano conservare perpetuamente intatti. Ogni giorno si cancella dai nostri costumi quel rispetto per l'inalienabilità dei retaggi che nelle abitudini inglesi è tuttavia nel suo pieno valore. Quanto più un popolo progredisce verso l'eguaglianza legale e verso l'abolizione dei privilegi, tanto più s'accostuma ad ammettere il danaro come equivalente e rappresentante dei godimenti. In Francia questa maniera di vedere è ora generale, nè v'è danno nei possessi territoriali che non si consideri come pienamente compensato con una generosa indennizzazione pecuniaria. Dopo

il regime di ferro dell'Impero, ciascuno si è sottomesso ad accettare come una modificazione essenziale del diritto di godimento il diritto del governo di disporre d'ogni proprietà per causa di pubblico interesse. Una semplice notificazione d'urgenza strascina seco la necessità della cessione, ed è questa una conseguenza diretta del principio della preminenza dell'interesse generale sull'interesse privato, ed è tal vincolo che oramai ha preso posto tra le necessità del nostro stato sociale e di cui l'industria approfitta pacificamente. Non è così in Inghilterra: le proprietà particolari esigono colà un rispetto più grande. Si vede in effetto quanta importanza diano le camere legislative a conoscere il numero dei proprietarj interessati alla costruzione di una strada di ferro, *i consenzienti, i non consenzienti ed i neutrali* (1); le opposizioni suscitate dagli stabilimenti già esistenti, ecc. Tutte queste diverse volontà vengono sottomesse ad uno scrupoloso esame; e se non risulta che una grande maggioranza d'interessi locali siasi pronunciata in favore del progetto, vien questo irremissibilmente rigettato.

Sembra pure che in certi casi il consenso degli stabilimenti rivali anteriormente esistenti sia indispensabile ad ottenere una concessione. Per tal modo nel processo eretto intorno alla strada di ferro da Cheltenhan a Great-Western, i proprietarj del canale del Thames e Severn fecero opposizione allegando che quella strada, inutile d'altronde pei bisogni della località, rovinerebbe immediatamente la loro intrapresa. In conseguenza di che, il comitato chiarissi contrario all'ammissione del progetto, e la compagnia dovette amichevolmente accordarsi coi proprietarj del canale.

## V. Del costo delle strade di ferro.

Sarebbe senza dubbio cosa molto utile all'economia nelle spese di creazione di una strada di ferro il poter prevedere approssimativamente l'ammontare delle inden-

(1) *Legge europea ed americana sulle strade di ferro*, per L. Smith. Saint-Étienne, 1837, pag. 263.

nizzazioni da darsi agli espropriati: si potrebbe allora, paragonando le diverse direzioni che possono essere date ad arbitrio a certe parti della linea, far entrare in conto il prezzo probabile degli acquisti e dei lavori di terrapieno, e si darebbe la preferenza a quel progetto che fosse per essere il meno dispendioso.

Essendosi resi necessarii più di 300 acquisti e più di 600 transazioni per la linea da Saint-Étienne a Lione, io fui spesse volte nel caso di fare a questo proposito minuti confronti. Ma infin dei conti io non ebbi mai a felicitarmi d'essermi allontanato anche per poco, e per uno scopo di economia, da ciò che si sarebbe dovuto far per la perfezione dell'andamento della strada. Le spese derivanti dall'aumento dei lavori d'arte, dalla perdita di tempo degli impiegati, i ritardi frapposti ad un compimento parziale dei lavori e tutte le spese accessorie per indennizzi, quasi sempre sono ascese ad una somma più considerevole di quella dell'economia da me sperata.

Il prezzo medio degli acquisti varia straordinariamente secondo la località. Ecco ciò che ne è costato per metro di lunghezza nelle diverse strade di ferro di Francia, d'Inghilterra, del Belgio e d'America.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Francia | Da Saint-Étienne a Lione . . . . . | 50 | — |
| » | Da Andrezieu a Roane . . . . . . . | 15 | — |
| » | Da Parigi a San Germano . . . . . | (?) | — |
| Inghilterra | Da Manchester a Liverpool. . . . . | 35 | — |
| » | Da Darlington a Stokton. . . . . . | 18 | — |
| Belgio | D'Anversa a Brusselles e Termonda | 18 | — |
| America | Dalla Provvidenza a Stonington, stato di Rhode-Island (1) . . . . . . . . | 3 | 50 |
| » | D'Amboy a Camden, stato di Long-Island (2). . . . . . . . . . . . . | 6 | 20 |

Lo stabilimento della strada di ferro rende necessarie per l'acquisto dei terreni spese molto più considerevoli quando la linea scorre per luoghi di livello ineguale che

(1) Major Poussin, *Chemins de fer americains*, Parigi 1836, pag. 6.
(2) *Idem*, pag. 16.

quando essa attraversa un paese di superficie piana o poco inclinata. Il bisogno di grandi curve impone per lo più tali direzioni delle quali non si potrebbe scostarsi nemmen per poco senza esporsi ai bisogni di lavori d'arte e di terrapieni che strascinerebbero grave dispendio. D'altra parte i proprietarii, chiamati a fare la cessione del loro terreno, rare volte vogliono comprendere tali considerazioni, locchè rende le transazioni molto difficili. Anzi, più volte io dovetti ricusare di far passare la linea per un luogo di loro convenienza che volevano abbandonarmi gratuitamente, e la mia resistenza li ha posti in tale stato d'irritazione che mi ha suscitato gravi imbarazzi.

Allorquando le proprietà sono assai divise e soprattutto nei contorni delle grandi città in cui si trovano più frequentemente fabbriche, case di campagna, giardini, cinte di muri, ecc., egli è pressochè impossibile il fissare nemmeno approssimativamente la cifra della spesa. In tali circostanze, il valore reale della proprietà s'ingrandisce necessariamente dalle pretensioni del proprietario, e se si ha a fare con un uomo difficile non gli mancano mai per appoggiare le proprie domande argomenti e ragioni imprevedute, sottili e speciose contro le quali l'imparzialità dei giudici non sa mai difendersi abbastanza. Lo stesso accade delle indennizzazioni per le occupazioni temporarie: le vie, i passaggi, i danni nei raccolti, le privazioni d'acque, ecc., formano per parte dei piccioli proprietarii il soggetto di domande esageratissime soprattutto quando suppongono che il pregiudizio sia derivato dal fatto degli agenti della compagnia. E perciò convien stipulare nel modo il più formale nei contratti cogli intraprenditori che tutte queste indennizzazioni staranno a loro carico.

Il costo del terreno, quantunque molto variabile, influisce però meno sul prezzo della costruzione di una strada di ferro che le difficoltà fisiche dell'apertura della linea, e quanto più tali difficoltà saranno grandi, tanto meno si potrà garantire la certezza rigorosa della valutazione. Inoltre, l'adottare curve di gran raggio e l'assoggettarsi a una lieve pendenza, condizioni che in paese piano modificano appena la cifra della spesa, arrecano una

grande differenza allorquando si conduce la linea attraverso un paese montuoso o lungo torrenti avvallati fra roccie.

Si conosce l'opinione generale dei geologhi sull'origine della maggior parte dei fiumi: v'eran dei laghi gli uni più alti degli altri: l'eccedente dei primi scaricandosi negli altri inferiori ha scavato de'solchi che formano adesso l'alveo dei fiumi. Circostanze particolari hanno dato in ciascun paese alle montagne, alle valli un aspetto e certe forme che quasi generalmente conservano nella medesima regione un carattere di famiglia, un angolo d'inclinazione ad un dipresso eguale da cui sono determinati i gomiti più o meno sinuòsi del corso delle acque.

Percorrendo una valle s'incontrano alternativamente le parti occupate altre volte dai laghi che formano al dì d'oggi quei floridi bacini divenuti centro delle popolazioni, come Ginevra, Lione, Rive-de-Giere, la pianura di Forez, ecc., e i tagli irregolari che le acque hanno aperto facendosi strada attraverso le roccie, come si vede nel Rodano a Bellegarde, come le roccie di Balbigny sopra la Loira fra Roane e Feurs, e la Rocca Forata fra Rive-de-Giere e Givors.

Ho verificato in quest'ultimo luogo che il raggio della curva media delle inflessioni del Gier è di circa sessanta metri. Se fosse stato possibile il dare alle curve delle strade di ferro un raggio uguale, la spesa avrebbe potuto essere valutata in modo pressochè certo e non avrebbe superato di molto quello di una strada ordinaria stabilita nelle medesime circostanze, cioè di diciotto franchi circa per metro di lunghezza (1).

Quand'io feci i miei primi piani non aveva tutta l'esperienza necessaria per determinare a dovere lo sviluppo che si deve dare alle curve. Dietro ciò che aveva veduto nella strada di Darlington prima che fosse del tutto posta in attività pensai che fosse sufficiente il disegnarle sopra un raggio di cento cinquanta metri. Con questo metodo io non aveva a fare in tutta la valle

(1) Questo è il prezzo delle strade di dodici metri di larghezza, come è calcolato nelle statistiche delle strade pubbliche che l'amministrazione dei ponti e strade ha presentato alle camere nel 1826.

della Rocca Forata, lunga circa 12000 metri, che tre fori, il più esteso dei quali era di 150 metri, e l'ammontare della spesa ascendeva a 7772000 franchi. Ma prima di mettere il progetto ad esecuzione volli andare ad esaminare una seconda volta la strada di ferro da Darlington a Stokton ch'era stata recentemente aperta al pubblico, e messa a profitto. Le mie nuove osservazioni ed i consigli dei signori Stephenson, Newcastle, Rennie e Brunel di Londra, mi hanno convinto della necessità di dare alle curve 500 metri di raggio, e ciò accrebbe fino a 9 il numero dei fori da praticarsi. Le grandi differenze che si sono verificate tra la cifra preveduta e la cifra raggiunta nella spesa, non mi hanno permesso di precisare l'aumento di dispendio occasionato da questo cambiamento di disposizione, ma l'ho sempre valutato ad un milione circa.

Quando si è angustiati dal tempo e si devono fare eseguire lavori in luoghi discosti dalle città e dalle grandi comunicazioni, ed in luoghi in cui la popolazione è povera e poco numerosa, difficoltà d'un altro genere possono fare variare sensibilmente la spesa. Alterandosi la proporzione fra i mezzi di sussistenza ed alloggio, e l'accrescimento numerico degl'individui, gli abitanti approfittano della penuria che ne consegue per esigere un prezzo eccessivo di tutto ciò che hanno a somministrare ai lavoratori stranieri. In tale occorrenza deve un direttore diligente ed esperimentato invigilare per tempo a ciò che la sua gente sia provveduta di tutte le cose necessarie, e deve egli stesso prendere tutte le misure di precauzione che sarebbero senza fallo trascurate dall'imprevidenza de'suoi operaj. In questo modo eviterà l'aumento dei prezzi, come anche ogni ritardo e sconcerto nell'organizzazione de'suoi lavori, d'onde immancabilmente deriverebbe un sopraccarico di spese ed una gran perdita di tempo.

Ecco i diversi costi di ogni metro di lunghezza, per lavori d'arte e di terrapieno in ciascuna delle strade di ferro già citate.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Strada | da Saint-Étienne a Lione | Fr. | 96 |
| — | d'Andrezieu a Roane | » | 36 |
| — | da Parigi a San Germano | » | (?) |
| — | da Manchester a Liverpool | » | 92 |
| — | da Darlington a Stokton | » | (?) |
| — | d'Anversa a Brusselles e Termonda | » | 26 |
| — | dalla Provvidenza a Stonington | » | 35 |
| — | d'Amboy a Camden | » | 30 |

Quanto alla spesa per la strada che comprende le rotaje (*rails*), le morse, o, con altro termine, i cuscinetti (*chairs*), le traverse di legno o, in luogo di queste, i dadi di pietra, i cunei, le cavicchie, non che il ponimento di tutto questo in opera; le variazioni, dicesi, cui tale spesa va soggetta, dipende non solo dal costo dei detti articoli secondo le varie località, ma ben anco dalle diverse loro dimensioni. Per termine medio possono essere, in genere, ritenuti, ogni metro di lunghezza, i prezzi di

| | | | |
|---|---|---|---|
| Chil. 50 di ferro ladino a 400 fr. per 1000 chil. | Fr. | 20 | — |
| Un pezzo di legno di quercia o due dadi in pietra | » | 2 | — |
| Due cuscinetti di ferro fuso pesanti 6 chil. a 350 | » | 4 | 20 |
| Posizione in opera | » | 1 | — |
| Trasporto dei materiali | » | 1 | — |
| In tutto | Fr. | 28 | 20 |

Le altre spese come quelle d'amministrazione, d'ingegneri, d'impiegati per l'ispezione dei lavori, d'acquisti e costruzioni delle vetture, di macchine locomotive, di grue, di leve, di magazzeni, di depositi, ecc., essendo necessariamente subordinate alle circostanze particolari ed al movimento dei trasporti, non è possibile di esprimerle con una cifra probabile finchè non si è fissata la destinazione speciale della strada.

D'altronde queste valutazioni sono assolutamente in-

dipendenti le une dalle altre, e non si può formare un insieme che servisse di base ad un calcolo, senza recarsi sopra una strada di ferro la cui costruzione abbia qualche analogia col progetto, o sopra un canale o sopra una strada comune la cui destinazione potesse essere di sussidio per valutarne il movimento.

Tutte le strade di ferro costrutte fino ad ora hanno subito numerosi cambiamenti nell'esser aperte all'esercizio, e perciò non si potrebbe precisare quanto avrebbero costato se fin da principio fossero state poste nello stato in cui si trovano attualmente. Bisogna aspettarsi che ancora per lungo tempo, tutte le strade che si faranno sieno per soggiacere ad una serie indefinita di modificazioni. È impossibile che non sieno recate giornalmente nuove riforme dai progressi della scienza, e dalle frequenti scoperte, sia nell'arte stessa, sia nelle industrie che vi concorrono. Ma dovendo avere tutte tali riforme il risultamento di aumentare la celerità, di evitare i sinistri, di semplificare il servigio, si deve sempre considerarle come un bene; e quando una compagnia ha sufficienti mezzi non deve indietreggiare al cospetto di una spesa, che porta seco nel suo oggetto il proprio compenso.

Checchè ne sia di questa impossibilità di stabilire un termine medio generale, le previdenze possono acquistare qualche grado di certezza, allorachè si tratta d'una linea molto estesa, della quale siasi fissata la direzione, e della quale siasi determinato anticipatamente il movimento in quanto alle tonnellate della mercanzia, al numero dei viaggiatori, ed alla celerità dei trasporti. Quelli che hanno una grande abitudine di far eseguire lavori di questo genere, potranno, alla semplice vista dei luoghi, fare una stima sufficientemente esatta del costo della impresa progettata.

Allorchè si tratta d'aprire una gran via di comunicazione, bisogna ben guardarsi dal cedere all'entusiasmo e dal lasciarsi affascinare da speranze chimeriche. Il progetto deve essere sottoposto con serio esame ad un calcolo freddo e positivo, e, determinato lo scopo, si ha da accertarsi che possa essere raggiunto, e che non si abbia ad essere costretti ad andare più in là. Lo Stato prima di consa-

crarvi esso medesimo o di permettere che una compagnia v'impieghi capitali considerevoli, deve aver riconosciuto che questo denaro non sia per essere assorbito, senza che ne risulti un ben pubblico; e la sua sollecitudine a questo proposito deve essere eguale a quella che metterebbe un semplice particolare nell'amministrazione della propria privata sostanza. Se si fosse ben apprezzato questo principio, la nazione sarebbe divenuta più giusta verso il governo, ed avrebbe compreso che poteva esser cosa saggia e prudente il non affrettarsi a solcare inconsideratamente la Francia con una moltitudine di strade di ferro, come l'opinione pubblica, troppo pronta a lasciarsi abbagliare, voleva imporgliene l'obbligo. Si sarebbe dovuto richiamare alla memoria quanti imbarazzi furono suscitati dal compimento di tutti quei canali, che furono intrapresi in eguali circostanze, e si sarebbe trovato in questo recente esempio la spiegazione d'una giusta esitazione, che troppo leggermente si è accagionata d'incuria.

I risultamenti d'una grande intrapresa rare volte si manifestano in guisa ben chiara al primo aspetto. Vi sono sempre considerazioni che sfuggono al concepimento generale del progetto, e che la riflessione e la maturità fanno sorgere. Si potrebbe anzi stabilire come principio, che il tempo dedicato allo studio di una misura influente sugli interessi generali, deve stare in ragione diretta dell'importanza che la decisione può avere. È un vantaggio senza dubbio l'accorciare i ritardi, ma ne è uno ben anche l'evitare i falli. Gli effetti di un errore, di un'imprevidenza non si ristringono ordinariamente al fallo medesimo, cui già spesse volte è difficile il correggere, ma agiscono sopra le idee, spaventano l'opinione, rallentano lo slancio, e sviano qualche volta per lungo tempo l'impulso salutare delle masse, altrettanto pronte a sentire puerili timori, che a concepire incertissime speranze.

Vi son de'casi in cui lo stabilimento di una strada di ferro deve essere accolto senza esitazione, per esempio quando si devono percorrer luoghi nei quali non esiste ancora alcun altro mezzo di comunicazione, e che

abbiasi ad aprire lo sbocco a produzioni preziose ed abbondanti. Sarà lo stesso quando la strada avrà a traversare terreni che non hanno alcun valore, e quando i materiali richiesti dalla costruzione non costino che la mano d'opera, come accade in America, ove un metro di lunghezza di strada di ferro ad una sola rotaia con guide di 18 chil. non sorpassa i 75 fr. (1). Il governo inglese poteva anch'esso senza pericolo vedere fondersi immensi capitali in tali intraprese (2) perchè il bisogno di viaggiare è in generale imperioso in tutte le parti dell'Inghilterra, ed è eguale in tutte le classi dei cittadini; e altresì perchè il movimento della popolazione per oggetti di negozio o di piacere, è secondato dall'agiatezza di quasi tutti gli individui. Ma non è così in Francia: presso che in tutte le direzioni nelle quali si potrebbero stabilire strade di ferro esistono vie, canali, fiumi navigabili, e il trasporto delle mercanzie e dei viaggiatori si opera in modo quasi soddisfacente. Le popolazioni delle grandi città, e particolarmente di quelle del nord della Francia, non sono forse molto lontane da quelle dell'Inghilterra, in quanto alle abitudini ed alle sostanze; ma gli abitanti delle altre parti del regno non sarebbero ancora egualmente ben disposti a pagare a sì caro prezzo il modo di soddisfare a bisogni che sentono ancora debolmente. So che verrà risposto, che la creazione delle strade di ferro produrrà appunto l'effetto di sviluppare siffatti bisogni, e di far apprezzare i vantaggi offerti dalla perfezione dei modi di trasporto; in guisa che tal creazione, trovandosi essere alternativamente causa ed effetto, secondo le circostanze a cui dà o di cui segue l'impulso, non cesserà in nessun caso di raggiugnere lo scopo. Codesta osservazione è vera e giudiziosa, ma potrebbe divenire ben dannoso l'appoggiarvisi per aprire strade di ferro all'azzardo e dappertutto, come sembrerebbe che rigorosamente conseguisse da tal principio accettato in un senso assoluto. Il problema non è ancora giunto ad

(1) Rajor Poussin, *Strade di ferro in America.* Parigi, 1836, pag. 162.

(2) Il governo inglese ha autorizzato nel 1836 i particolari a impiegare 400 milioni di franchi alla costruzione di strade di ferro. Vedi l'opera del signor Achille Guillaume. Parigi 1838, pag. 72.

una risoluzione completa. La strada di ferro da Saint-Étienne a Lione è restata fino al giorno d'oggi in istato poco prospero (1), mentre quella da Darlington a Stokton, che non offre sopra di essa alcuno vantaggio apparente, è arrivata ad uno stato assai florido (2). La sorte delle strade di ferro nel Belgio non è ancora decisa, e non credo che vi sia tanta urgenza da far ingojare a tali intraprese gli enormi capitali dei quali si è parlato, prima che l'esperienza non abbia un po' meglio chiariti i vantaggi che se ne devono attendere (3).

## VI. Scelta della linea.

Il bisogno di trasportare grandi quantità di prodotti in una direzione invariabile ha destata l'idea di costruire le strade di ferro: l'uso se ne limitava allora al servizio dei particolari e delle compagnie; l'interesse privato era solo in contingenza, e la quistione di utilità era ad un tempo semplice e facile. Ma dacchè si concepì il pensiero di generalizzarne l'uso, ampliandone le applicazioni, la quistione si è ingrandita e complicata, e ne rimase lo scioglimento subordinato alla combinazione di tutte le probabilità che non ponno essere se non timidamente opposte alle condizioni note e sicure degli altri mezzi di comunicazione.

La creazione di una linea richiede un duplice studio, e deve essere riguardata sotto due ben distinti punti di vista: il primo nell'interesse privato, vale a dire sotto il rapporto dei risultamenti economici dell'intrapresa paragonati ai capitali impiegati: il secondo nell'interesse pubblico, vale a dire sotto i rapporti dei vantaggi morali e materiali che la nazione ne ricaverà. Se l'intra-

(1) Il corso delle azioni non ha ancora potuto risalire al pari: esse hanno perduto nel 1837 fino al 40 per 100.

(2) Le azioni di 46 2/3 lire sterline erano ascese nell'agosto 1838 a 297 1/2 lire sterline.

(3) Le considerazioni relative allo stabilimento delle strade di ferro sono state esposte con grande ingegno dai signori Simons e de-Ridder in un'opera pubblicata all'occasione del progetto di una gran rete di strade di ferro abbracciante tutto il Belgio. Si veda la *Descrizione delle strade di ferro da Anversa a Colonia*, dei signori Simons e de-Ridder. Brusselles 1833.

presa è assunta da un particolare o da una compagnia allo scopo di impiegare vantaggiosamente i capitali, è chiaro che tutto si riduce a conteggiare le probabilità del guadagno o della perdita, lasciando da parte ogni considerazione che abbia un'importanza puramente morale, o politica.

Può accadere però che alcuni capitalisti si mettano alla testa di qualche intrapresa, dalla quale non si possa ragionevolmente e matematicamente aspettare alcun guadagno. Ma ciò avviene perchè le perdite alle quali si espongono devono essere largamente compensate da vantaggi indiretti. In tal guisa colui che possiede miniere o vasti terreni, il cui valore sarebbe di molto aumentato dall'aprimento di una strada di ferro, si deciderà facilmente a intraprenderla, se in ultimo risultato egli aumenta nelle sue entrate ciò che perde nell'impiego dei capitali. Del resto tal sorta di speculazioni non è ragionevolmente possibile che sopra una picciola scala; però talvolta acquista ben maggiore estensione in grazia dei colpevoli intrighi dell' agiotaggio. Dopo essersi eccitato l'entusiasmo del pubblico col presentargli falsi calcoli e coll'abbagliarlo per mezzo di una riputazione fattizia, se ne trae profitto onde attirare all'intrapresa il capitale dei particolari: quando il danaro è impiegato la rovina di quelli che lo hanno somministrato è compita, ma gli speculatori hanno ottenuto il loro scopo. Alcune volte questi immorali intrighi sono posti in opera con intenzioni ancora più odiose, e la vendita a premio (1) delle azioni spinta ad un valore affatto illusorio, offre un mezzo di realizzare ancor più prontamente enormi e fraudolenti guadagni.

In tale stato di cose sarebbe necessario che la legislazione pervenisse a concatenare solidamente i diritti del pubblico e quelli dei particolari, ed a coprire gli uni e gli altri sotto un'eguale guarentigia.

Ma non è questo il solo pericolo al quale si andrebbe

(1) *Vente à prime* dicesi il contratto col quale taluno si obbliga di consegnare le azioni in un tempo futuro, nel quale poi si può fare a meno di consegnarle, conguagliandosi i contraenti fra loro col pagarsi reciprocamente il più od il meno del corso delle azioni. *Nota del trad.*

incontro, volendo separare siffatte intraprese dall'azione del governo. Vi sono certi casi nei quali in mezzo alla somma dei vantaggi d'ogni specie, ch'esse posson recare, la parte del vantaggio derivabile al pubblico è eguale ed anche superiore a quella dei guadagni diretti che possono sperare le compagnie. Allora, se queste non sono sostenute dal governo o dai proprietarj che hanno un interesse affatto speciale nell'esecuzione dei lavori, esse saranno obbligate o a rinunciare al disegno, con sommo discapito del pubblico, o ad entrare in un sistema di economia che le esporrà a mancare in tutto od in parte al fine che si erano proposte. In breve, la quistione economica d'una intrapresa non può essere considerata come risoluta, se non quando si è stabilita la possibilità dell'esecuzione entro un limite di spesa che stia in proporzione col prodotto medio probabile che devono ricavarne i somministratori, e senza alcun riguardo a tuttociò che può derivarne a beneficio d'interessi estranei.

Le decisioni da prendersi per l'apertura di linee principali, quali sarebbero quelle che partirebbero da Parigi per arrivare alla frontiera, richiedono soprattutto severa discussione e serio esame. È quasi impossibile che il governo non vi abbia a intervenire, se non in modo attivo, al meno colla sua influenza. In fatto, questa sorta di stabilimenti può modificare la condizione sociale d'una intiera nazione; e dall'altro canto è spesse volte indispensabile che siffatte nuove comunicazioni siano collegate e concordanti col sistema generale delle strade strategiche dello Stato: infine è ben naturale che per opera tanto importante, il governo presti al pubblico il concorso de' suoi ingegneri, i quali soli possedono nella loro amministrazione i mezzi opportuni per fare compiutamente tutti gli studj necessarj.

## CAPITOLO III.

### DEL TRACCIATO DELLE STRADE DI FERRO

---

#### I. Osservazioui generali.

Allorquando la direzione della linea è fissata e quando si sono scelte le valli che deve percorrere, i punti ove deve superare le uscite per passare da un versante all'altro, le città cui deve servire, possono con una ispezione preliminare essere abbastanza approssimativamente valutate le difficoltà e la spesa. Si deve però in tali valutazioni diffidare della tendenza dell' occhio a raddrizzare le curve e a livellare i terreni. Una pendenza di 2 a 5 millimetri per metro, proporzione adottata ordinariamente nelle strade di ferro di grande estensione, non è assolutamente sensibile all' occhio. Perciò, nella visita e ricognizione dei luoghi, si deve sempre aver cura di munirsi di tali indicazioni delle quali si possa far conto, come sarebbe la distinta delle altezze che al disopra del livello del mare hanno le correnti d'acqua più vicine, i rapporti fra le pendenze più vicine, ecc., riferibili ad una carta che sia levata sulla più gran scala possibile.

Occorre anche una grande abitudine per determinare anticipatamente ed anche approssimativamente, senza soccorso d'istrumenti, il raggio che dovrà avere una curva che possa soddisfare alla condizione d'intromettersi fra un certo numero di punti dati, evitando gli uni, avvicinandosi più o meno agli altri secondo che vi si troverà una città, un ponte, una montagna, ecc. Ciononondimeno, questo esame preliminare e generale deve esser sempre fatto, se non altro al fine d'indicare agli impiegati

con qual ordine devono procedere agli studj anteriori alla scelta del tracciato.

Questo primo lavoro pone l'ingegnere in istato di cominciare operazioni definitive. Ei passa allora ad una livellazione con tutta quella esattezza che si può ottenere dalla perfezione attuale degli stromenti di geodesia. Essenzial cosa è l'avere fin dal principio dei lavori una serie di punti invariabilmente fissi sui quali guidarsi; e sarà ben fatto altresì che siano abbastanza vicini gli uni agli altri, perchè non si abbiano a temere gravi errori, facendoli servire come punti di partenza ad oggetto di determinare coi metodi soliti gli altri punti intermediarj. L'operazione di una prima livellazione generale, che è lunga e difficile, è anche sommamente importante, poichè deve servir di base a tutte le livellazioni parziali durante il corso dei lavori: ed ognuno vede che essendo necessario l'aprire allo stesso tempo parecchi cantieri, ed accingersi a mettere in opera le rotaje simultaneamente sopra un gran numero di punti, si correrebbe rischio per i minimi errori di livellazione di andare incontro a terribili sconci.

La livellazione generale per la strada da Saint-Étienne a Lione fu fatta con tutte le cure e tutta la perfezione immaginabile dal signor Edoardo Biot, ajutato e diretto dal celebre fisico Giovanni Battista Biot suo padre, che ha arricchito la scienza di tante scoperte e di bellissime opere. Un teodolito ripetitore escito dalle officine del signor Gambey servì loro a misurare tutti gli angoli d'una serie non interrotta di triangoli, sopra tutta la linea da Lione sino a Saint-Étienne. Il signor Biot determinò inoltre gli angoli che formavano coll'orizzonte i lati di quei triangoli; e l'esito di tale operazione gli permise di stabilire una serie di punti principali sui quali potemmo guidarci con fiducia per tutte le nostre livellazioni parziali, fino al compimento dell'opera.

Le regole sulle quali poggia il disegno di una strada di ferro non sono e non possono essere assolute. Non è la stessa cosa una via creata per un uso speciale o pel servigio di una piccola località, e quella che ha per oggetto il trasportare con grande velocità una gran

quantità di viaggiatori e di mercanzie; in questo secondo caso, allorchè si tratta di una linea di primo ordine, tutte le più gravi ragioni si riuniscono per imporre al governo il dovere di far sì che sia costrutta con tutta la perfezione comportata dallo stato dell'arte. La probabilità che il movimento, cui deve secondare una strada di ferro, non possa che accrescersi indipendentemente anche dall'influenza che la strada medesima dovrà necessariamente esercitare in tale senso; la facilità di mantenere una tariffa abbastanza alta senza timore di nuocere alla convenienza commerciale delle mercanzie; l'obbligo di adottare tutte le precauzioni possibili per la sicurezza dei viaggiatori; la necessità di disporre la strada in tal guisa che possa profittare di tutti i perfezionamenti che verranno recati ai sistemi dei motori, ed altre considerazioni non meno importanti, richiedono tutta la cura del governo. Che se le compagnie sono esitanti, prevedendo che in principio gli introiti non saranno corrispondenti alle loro spese, e se non sieno esse rassicurate dalla speranza che l'aumento successivo del movimento non tarderà ad indennizzarle, è meglio che desistano. Aspettino esse a tentare le loro speculazioni quando il tempo avrà condotto le cose a tal punto che tolga qualsiasi dubbio. In quanto allo Stato, il quale consulta solamente l'interesse delle masse, egli deve esser guidato da considerazioni meno strette. Ch'ei sagrifichi tutte le somme necessarie per ottenere la migliore esecuzione ed il migliore servizio possibili; che adotti quella direzione che riputerà dover più vantaggiosamente influire sullo sviluppo della prosperità pubblica: esso avrà ottenuto il suo intento sempreché la deficienza risultante nei conti del tesoro sia compensata dall'aumento della ricchezza nazionale. Dovrà soprattutto mettere ogni cura ad impedire che per corrispondere ai voti delle località non si apportino al tracciato tali modificazioni che ne allungassero la linea, ne alterassero la regolarità, diminuissero il raggio delle curve ed obbligassero a percorrere pendenze più difficili. Non si fa generalmente attenzione alla irragionevolezza che v'è nel complicare il movi-

mento delle masse per semplificare quello delle sue parti, e qualche volta di ben picciole parti. È caso raro che le località prossime alla linea non possano essere soddisfatte con una ramificazione congiungentesi alla strada, senza nuocere per nulla al disegno principale, diramazione che si può costruire con perfezione molto minore e con minor spesa. In molti casi si tien troppo conto delle pretensioni di qualche città o di qualche centro di popolazione, che vuol essere attraversato dalla linea principale. Tuttociò che si può fare per gli interessi particolari, si è di accordar facilità proporzionate alla loro importanza per unirsi alla linea principale, ma non si deve mai per loro solo vantaggio recare il minimo inciampo alla più piccola parte del servizio generale.

Il tracciato generale della linea di una strada di ferro si compone di una serie indeterminata di rette e di curve. La linea retta deve essere sempre preferibilmente adottata, ma, quando non si possano evitare le curve, non si deve temere di far dei sagrifici per ingrandirne il raggio. Il trasporto vi diviene più facile, ed i sinistri meno frequenti, essendo ben raro che tali vantaggi uniti non compensino e superino anche la differenza delle spese di costruzione. I lunghi fori, che ordinariamente si devono praticare per sorpassare le soglie che separano i versanti, offrono un mezzo di evitare le pendenze e le curve e di condurre le più belle porzioni della linea pei luoghi dove si trovavano le più grandi difficoltà. Non si deve quindi esitare ad eseguirli, tutte le volte che se ne presenta l'occasione, poichè sono di un gran soccorso non solamente per superare quei punti elevati, ma anche per attraversare un ostacolo poco esteso, cui non si sarebbe potuto circondare che per mezzo di una curva di corto raggio, oppure recando al profilo della linea tali modificazioni che avrebbero alterato l'insieme del suo livello.

Ho detto che costruendo una strada di ferro che abbia uno scopo di utilità generale, nulla deve risparmiarsi per darle tutta la perfezione alla quale si può giugnere; ma non è lo stesso quando la strada non deve servire che ad una località poco estesa, o quando

è destinata a soddisfare ai bisogni dell'industria privata. In tal caso l'ingegnere deve farsi un dovere rigoroso dell'economia; deve comprendere che la perfezione del tracciato ed il lusso dei lavori non possono avere altro effetto che quello di rovinare i capitalisti e di far loro perdere ogni sperato guadagno. Tuttavia alcune strade eseguite con questa saggia vista, hanno procacciato critiche ingiuste a quelli che le hanno dirette. Egli è perchè il pubblico si cura ben poco generalmente d'indagare sotto quali condizioni i capitali impiegati in un'intrapresa possono dare un prodotto sufficiente, e trova molto più semplice il preferire la perfezione assoluta, ch'egli può facilmente apprezzare, alla perfezione relativa che richiede esame minuto di una folla di considerazioni a lui inaccessibili.

Suppongo che la direzione del tracciato conduca la linea contro un ostacolo, per esempio, contro una montagna e che sia egualmente possibile il praticare un foro per ottenere la linea retta e il descrivere intorno alla montagna una curva il cui raggio fosse superiore al minimo imposto, ma che aumentasse la linea di una quantità eguale alla lunghezza intiera del foro, vale a dire che ne raddoppiasse in questa parte l'estensione. Egli è evidente che il foro sarà ben preferibile, e per la bellezza dell'andamento e per l'interesse del pubblico, poichè ne conseguirà sul trasporto dei viaggiatori e delle mercanzie un'economia di tempo e di danaro proporzionata alla differenza della lunghezza delle due direzioni. Sia dunque l'estensione del foro eguale a 1,000 metri: sia il movimento reso eguale a 500,000 tonnellate con un pedaggio di 10 centesimi al chilometro per ogni tonnellata: l'economia che il pubblico e lo Stato faranno ogni anno ammonterà a 50,000 franchi, poichè la lunghezza della curva sarebbe stata doppia. Ma se il foro ha costato un milione, la compagnia vedrà tutto l'introito di questa parte della sua linea assorbito dall'interesse del danaro che vi avrà speso, e si troverà in perdita di tutte le spese di trasposto e di manutenzione corrispondenti a questa medesima parte. Se all'incontro l'andamento sviluppato sopra una curva

di 2,000 metri non dovesse costare che 600,000 franchi, egli è chiaro che vi sarebbe ogni anno nei guadagni della compagnia un eccedente di 20,000 franchi, differenza negli interessi della somma spesa, e di 50,000 franchi, aumento d'introito sopra uno spazio di 1,000 metri, in tutto 70,000 franchi. La Compagnia non potrebbe dunque esitare a preferire per il proprio interesse il piano meno perfetto.

Quando una strada di ferro deve attraversare un paese ineguale, si ha ordinariamente riguardo al pendio delle acque per tracciare le diverse parti costituenti la direzione generale della linea. Tal regola però non è senza eccezione, e il versante più basso non è sempre quello che debba preferirsi: effettivamente allorquando le valli in cui scorrono i fiumi sono di qualche profondità, vi si trovano frequentemente alcuni punti in cui le ripe, quasi perpendicolari e vicinissime l'una all'altra, formano certe specie di stretture nelle quali non si potrebbe condurre una linea se non con estrema difficoltà. Il corso della Loira presenta fra l'Hôpital e Balbigny un accidente di questa specie per una estensione di 15,000 metri: in questo tratto il fiume è quasi continuamente avvallato fra una massa di roccia granitica di gran durezza che si sarebbe meravigliosamente prestata all'apertura sia di un solo foro di 15,000 metri, sia di una serie di fori che avrebbero potuto servire allo stesso intento: ma gli ingegneri che dovevano decidersi intorno ad una quistione cotanto spinosa, hanno preferito di abbandonare il bacino della Loira e di innalzarsi sovra piani inclinati ad un altipiano che domina il versante dei due piccioli confluenti.

Non si dovrà dunque obbligarsi a seguire il corso di un fiume senza avere preventivamente ponderate tutte le considerazioni che potrebbero opporvisi, quali sono le difficoltà più o meno grandi di mantenervi l'andamento, la lunghezza del tragitto risultante dagli andrivieni del fiume, i bisogni del commercio locale; senza avere infine valutato tutte le conseguenze del partito.

Son note le discussioni alle quali ha dato luogo la scelta della direzione della strada di ferro da Parigi all'Hâvre;

e si può ancora rivocare in dubbio se abbandonando le ripe della Senna per seguire la linea degli altipiani siasi adottato il partito migliore. Si è forse bene investigato se tal andamento sarà il più favorevole ad ammettere in seguito tutti i perfezionamenti possibili nella via, nelle macchine e nelle vetture, atti a produrre effetto sulla economia e sulla rapidità dei trasporti? L'importanza di una comunicazione fra Parigi ed Hâvre avrebbe giustificato tutte le disposizioni di prudenza che il governo avrebbe creduto prendere verso le Compagnie: egli era in diritto di impor loro tutti i sacrificj necessarj per mettere la linea in istato di godere in avvenire di tutte le scoperte che potranno venir fatte in questa materia. Se è vero che lo sviluppo della linea lungo la Senna presenta un grande eccedente sul tracciato che ha ottenuto la preferenza, può darsi che tagliando gli istmi e moltiplicando i ponti si sarebbe pervenuto a diminuirla di molto. Tal maniera di procedere avrebbe condotto anche ad un altro risultamento non meno prezioso, perchè se vi son parti della valle rimaste finora estranee alla vita ed al movimento da cui sono circondate, è però agevole lo scorgere che tendono ad associarvisi quanto prima; e il passaggio della strada di ferro avrebbe secondato questa disposizione, per cui una nuova attività si sarebbe stesa e per così dire naturalizzata su tutti i punti.

Altre considerazioni che avrò ben tosto occasione di esporre con qualche insistenza e che sono relative alla preferenza da darsi alle linee orizzontali, dovettero necessariamente essere materia di un maturo esame, perche la strada di ferro da Parigi ad Hâvre è evidentemente destinata ad un movimento, di cui è impossibile il calcolare il limite. E se le Compagnie, non avendo in vista che il loro interesse attuale, non credettero di acconsentire alle prescrizioni del governo, sarebbe bastata la dilazione di alcuni anni, o se non si fosse voluto aspettare, sarebbero bastati alcuni soccorsi per determinarle a sottomettervisi.

La strada da Manchester a Liverpool, sì celebre per lo slancio che ha comunicato a tutto il mondo indu-

striale, offre nel suo andamento al passaggio del Rein-Hill un gran difetto: si trova a tal punto una pendenza e una contropendenza, ciascuna di 2,400 metri di lunghezza, separate da un intervallo della medesima estensióne. Questi due piani inclinati devono essere sì all'andata come al ritorno alternativamente saliti e discesi sopra un inclinazione di $0^{m}$,010 millimetri per metro, vale a dire doppia delle pendenze più rapide che si trovano in tutto il resto della linea. È certo che motivi assai possenti devono aver determinato gli ingegneri inglesi a lasciar sùssistere una imperfezione che deve recare molta angustia nel servizio e cagionare un grande aumento nelle spese di trasporto, poichè è necessario limitare per tutta la linea il carico delle macchine al peso che possono strascinare nella salita di quelle pendenze. Ma bisogna rammentare che all'epoca in cui fu costrutta la strada di Manchester si era ben lungi dal conoscere tutti i vantaggi sperabili da questo nuovo modo di trasporto. Si era allora tanto lontani dal sospettare che si potesse un giorno ottenere quella celerità alla quale si è poi giunti, che ebbe luogo una lunga discussione fra i signori Walker e Rastrick da una parte, e il signor Stewenson dall'altra sulla quistione se convenisse meglio dar la preferenza alle macchine fisse o alle macchine locomotive. Si prevedeva allora che il movimento della strada dovesse ammontare ogni giorno a 4,000 tonnellate (1) le quali per essere trasportate con una velocità di 10 miglia inglesi, o di quattro leghe all'ora, avrebbe richiesto l'impiego di 102 macchine locomotive: ciascuna di queste macchine, colle spese di manutenzione, di riparazione, di rinnovamento doveva, secondo la probabilità, costare 376 lire sterline, ossiano 1,000 franchi circa l'anno. Si sa oggigiorno come tali previdenze fossero fallaci. Il trasporto dei viaggiatori, che si considerava come un mezzo d'introito del tutto subalterno, è divenuto la sorgente principale della prosperità della strada, mentre il movimento quotidiano delle mercanzie non è giunto quasi che al totale di 1,000 ton-

(1) *Rapporto dei signori Walker e Rastrick.* Liverpool 1829.

nellate. In quanto alle spese totali di ciascuna macchina posta in attività esse sono rimaste poco al disotto di 3,000 lire sterline.

Siffatti equivoci mostrano con quanta circospezione si debba agire allorquando si vogliono subordinare disposizioni generali di una gran via di comunicazione ad un complesso di probabilità, che si considerano come condizione elementare della sua prosperità futura. Se gli ingegneri della strada da Manchester a Liverpool avessero potuto prevedere nel 1826 ciò che sarebbe nel 1838, sarebbero forse pervenuti ad ottenere una miglior linea di livellazione, appropriandola meglio all'uso attuale.

È ben raro che l'andamento di una strada di ferro non abbia a superare delle soglie, vale a dire delle alture che la conducano da un versante all'altro. Quando ciò non è reso necessario dalla configurazione del suolo, sorgono considerazioni commerciali che rendono egualmente inevitabile una tal condizione, sia che la strada rimontando lungo il corso delle acque si prolunghi al di là della loro sorgente, sia che abbia a superare le creste che separano i letti dei fiumi. Basterebbe gettare uno sguardo sui profili delle strade di ferro finora costrutte, per accertarsi di quanto dico. La scelta di tali passaggi deve sopra tutto essere per l'ingegnere l'oggetto di uno studio del tutto particolare. Ei non deve risparmiare nè indagini nè fatica per arrivare a quella combinazione che possa adempiere più compiutamente tutte le condizioni cui deve soddisfare.

Allorchè feci il tracciato della strada di Saint-Étienne a Lione io mi era in prevenzione deciso di non indietreggiare al cospetto di qualsiasi sacrificio per dare alle curve tutto lo sviluppo che il terreno comportasse, e per mantenere la regolarità delle pendenze fra tutti i punti che l'ordinanza reale mi obbligava a seguire. Eppûre non si dava in allora di gran lunga a quelle condizioni tutta l'importanza che vi si attribuisce al dì d'oggi. Dietro ciò ch'erasi fatto per le strade di Hetton e di Darlington, e dietro ciò che si progettava per quella di Manchester, si credeva che per superare gli alti

passaggi non vi fosse mezzo preferibile a quello dei piani inclinati serviti da macchine stazionarie. Io era di un'opinione del tutto opposta, e la mia convinzione lottò ostinatamente contro un pregiudizio già profondamente radicato nello spirito pubblico. Ebbi in seguito gran motivo d'applaudire alla mia fermezza, quando potei convincermi che se avessi agito diversamente, ne sarebbe venuta la rovina prossima e completa della compagnia. È vero che le macchine locomotive, ancora imperfettissime, non erano allora peranco conosciute se non per fama o per descrizioni assai inesatte. Molte persone s'immaginavano che situando le macchine sovra una pendenza di $0^{m},010$ millimetri non potrebbero continuare il loro cammino, e che le ruote girerebbero sulle rotaie senza andare innanzi. Così credendo, si era di avviso che non si potesse far nulla di meglio per percorrere una gran distanza fra duè punti, l'uno dei quali fosse molto più alto dell'altro, che rompere il profilo della linea. Si divideva dunque la strada in una serie di piani orizzontali in cui agivano macchine locomotive; questi piani che si succedevano gli uni sopra gli altri, si riunivano fra loro con rapidi piani inclinati serviti da macchine stazionarie. L'esperienza ha fatto infine giustizia dell'assurdità di tale sistema.

In ultimo risultato noi non siamo ancora al dì d'oggi in istato di dare al tracciato delle strade regole invariabili. L'ingegnere non può essere guidato in questo lavoro che dai suoi studj su ciò che è stato fatto, e dalla previdenza più o meno giusta di ciò che si farà in avvenire. Non deve dunque, per quanto il può, stabilire i suoi calcoli che sotto riserva di probabili perfezionamenti. Il complesso del progetto e tutte le cose la cui costruzione sia necessariamente definitiva, deve stabilirle su tali basi che non ne risulti in seguito l'esclusione indispensabile di alcun miglioramento: quanto ai particolari su cui possano successivamente cadere riforme, deve lasciare che il tempo le faccia conoscere.

II. Del calcolo della resistenza dei vagoni e delle locomotive.

Allorchè si disegna una linea di lunga estensione accade poche volte che si abbia ad adottare una pendenza più rapida per diminuire la lunghezza del tragitto, e tal caso sarà ancora più raro prendendo in considerazione i rapidi perfezionamenti delle vetture e delle macchine locomotive. Si sa che la resistenza delle vetture e dei motori si divide in due parti fra loro distinte, cioè: la resistenza che procede dall'attrito delle diverse parti della ruota contro i cuscinetti, o sopra le rotaie, e quella che è relativa all'altezza verticale a cui ad ogni istante bisogna sollevare la massa intiera del convoglio.

La prima di quelle resistenze, cioè quella che dipende dall'attrito, è subordinata e agli sviluppi della linea e all'esattezza del ponimento delle rotaie, e alla cura che si ha di mantenerle in uno stato continuo di nettezza, e alla costruzione più o meno buona delle vetture e delle macchine.

Ecco come questa resistenza vien calcolata.

Supponiamo che una vettura *V* (tavola III, figura 14), caricata o no, sia posta sulle spranghe *EF* di una strada di ferro in direzione orizzontale. Se vien situata nel punto *K* una carrucola *G* sulla quale si faccia passare una corda *ILH*, che da un'estremità sia attaccata alla vettura in *I* e dall'altra in *H* ad un peso *P*, è evidente che facendo variare questo peso, si giungerà al punto che faccia esatto equilibrio coll'attrito che si deve vincere per mettere la vettura *V* in movimento.

Tal peso sarà allora ciò che si denomina attrito della vettura.

Sulla strada di ferro da Saint-Étienne a Lione l'attrito è eguale a 0,005 ossia 1/200 del peso; vale a dire che per mettere in moto una vettura *V*, la quale insieme col suo carico pesi 4,000 chil., occorre un peso *P* eguale a 1/200 di tale quantità, cioè di 20 chil.

Sulla strada da Manchester a Liverpool, tal resistenza non è che di 0,0036 ossia di 1/277 del peso; e il peso

*P* in luogo di 20 chil. in un caso analogo al precedente non sarà che di $4000 \times 0,0036 = 14^{ch.},40$.

Quando la linea è orizzontale le spese di trasporto stanno sempre in proporzione diretta con tale resistenza, e si ha quindi il massimo interesse a diminuirla per quanto si può. A questo intento restano ancora grandi miglioramenti ad operare, sia nei particolari della costruzione, sia nei mezzi che vi si impiegano. La forma e la disposizione delle ruote delle vetture, quella delle bussole e dei cuscinetti nei quali girano gli assi, il modo di ingrassamento e le sostanze che sono preferibili per tale operazione, le maniere di stabilire le vetture, di accoppiarle fra loro, di farle rimurchiare dalle macchine, e mille altre modificazioni, possono produr l'effetto di diminuire la resistenza, ed economizzare la forza. Non è mai troppa la diligenza dei capi e dei direttori delle intraprese nel cercare tutti i perfezionamenti tendenti a questo fine. Io non voglio già eccitarli ad adottare inconsideratamente riforme imprudenti le quali, sotto pretesto d'introdurre un sistema migliore, rovinano le meglio concepite imprese. Giova bensì fare esperienze, anche quelle che esigono cambiamenti dispendiosi, perchè possono condurre a felici risultati; ma bisogna fare saggi dapprima sovra una picciola seala. Inoltre le compagnie mediocremente ricche useranno prudentemente se lasceranno la cura di quelle esperienze alle altre che trovansi in istato di prosperità, per le quali il mal successo non può avere conseguenze disastrose. Quando poi il merito d'un'invenzione è bene comprovato, i direttori d'una compagnia ancora vacillante devono approfittarsene.

La seconda parte della resistenza, quella cioè che dipende dalla gravitazione, sta in proporzione coll'angolo che formano le spranghe colla linea orizzontale. Se le vetture percorrono una linea salendo, quella resistenza s'aggiugne alla precedente; se al contrario le vetture seguono il pendio, la resistenza procedente dall'attrito trovasi diminuita d'una quantità eguale a quella di cui s'accresce nel salire.

Diamo per esempio alla strada da *F* in *E* una pen-

denza ascendentale di 5 millimetri per metro; è chiaro che ad ogni metro percorso i 4,000 chil. saranno stati sollevati di 5 millimetri, ciò che torna lo stesso, ed esige la medesima forza come se si sollevasse un peso di 20 chil. ad un metro, facendo astrazione nell'uno e nell'altro caso da qualunque attrito. Bisognerebbe in conseguenza aumentare il peso $P$ perchè bastasse non solamente a vincere la resistenza dell'attrito, ma anche per far risalire la vettura da $F$ in $K$; ed a questo effetto bisognerebbe aggiugnere 20 chil., che farebbero in tutto 40 chil. sulla strada di ferro da Saint-Étienne a Lione, e 34$^{ch.}$,40 sopra quella da Manchester a Liverpool.

Non si sa ancora fino a qual punto si arriverà a ridurre la resistenza procedente dall'attrito; i perfezionamenti della strada di ferro e dei sistemi di locomozione possono diminuirle considerevolmente. In ogni modo è agevole il comprendere quanto importi l'avere le più deboli pendenze che si possa, poichè un'inclinazione di 0,0036 sulla strada di ferro di Manchester, raddoppia la resistenza della vettura, e poichè un'inclinazione di 0,001, che potrebbe considerarsi come di nessun effetto, produce tuttavia un eccedente del 28 per cento sulle spese di traimento.

La grande celerità colla quale si fa il servigio sulle strade di ferro si altererebbe molto se si avesse a perder tempo per aumentare o diminuire il convoglio onde proporzionare il carico alla forza della macchina; e perciò bisogna calcolare che il massimo del carico che si possa ricevere per tutto il tragitto deve essere fissato al peso che può esser strascinato nelle parti ove la resistenza è più grande. È vero che si potrebbero dare alla macchina tali proporzioni che fosse atta a sviluppare all'occorrenza una forza superiore a quella che impiega nel servizio abituale, ma tal ripiego non condurrebbe ad altro che a sostituire un inconveniente ad un altro.

Se per giungere ad un punto obbligato, alto per esempio 150 metri, si avesse la facilità di regolarsi in modo da poter seguire quel pendìo che si volesse aumentando

o diminuendo in proporzione la lunghezza della linea, potrebbe esservi in tal caso un vantaggio nell' abbreviare il tragitto aumentando la pendenza. Effettivamente, dacchè l'altezza alla quale è d'uopo sollevarsi resta sempre la medesima, si guadagnerebbe adottando la linea più corta tutta la forza necessaria a vincere la resistenza dell'attrito sull'eccedente di lunghezza della linea maggiore, come anche il tempo necessario per percorrerla. Cionondimeno questo calcolo semplice in apparenza divien complicato se si fa entrare in conto il peso della macchina che deve trasportar sè stessa e la cui resistenza deve essere diminuita dalla somma dell'utilità.

Supponiamo che per giungere a quell'altezza di 150 metri si abbia la scelta fra due linee, l'una delle quali di 50 chil. potesse condursi sopra un pendio di 0,003, e l'altra lunga soltanto 30 chil. sopra un pendio di 0,005. La differenza fra queste distanze è abbastanza grande perchè non si abbia a temere d'impiegare il tempo necessario per divider e ricomporre in seguito il convoglio in modo di rendere il lavoro delle macchine eguale alla loro forza di traimento. Quest'è, come si vede, il caso il più sfavorevole, poichè io suppongo che tutto l'eccesso dello sviluppo sarà in aumento di lunghezza sopra la linea.

Sia il peso della macchina eguale a 9 tonnellate, e quello del *tender*, ossia carro d'approvvigionamento per l'acqua, il *coke*, ecc., di 5 tonnellate, in tutto 14 tonnellate. Sia in seguito il carico brutto della macchina sopra una linea di livello portata a 80 tonnellate, di cui 20 per le vetture e 60 per le mercanzie strascinate, e così in totale il peso di 94 tonnellate. Adottando una resistenza di attrito e una velocità eguali a quelle della strada di ferro da Manchester a Liverpool, la macchina sarà obbligata a sviluppare la forza necessaria per vincere la resistenza dell'attrito della macchina e delle vetture, cioè:

Per il convoglio:

80,000$^{ch.}$ $\times$ 0,0036 . . . . . . . . . . . . . 288 —

Per la macchina:

1.° La resistenza senza carico (1) . . . . . 68 —

2.° L'eccedente della resistenza in forza del carico, 85,000 $\times$ 0,0005 (2). . . . . 42 50

3.° La resistenza del *tender*, 5,000 $\times$ 0,0036. 18 —

Totale . . . . 416 50

La resistenza che dovrà vincere la macchina sopra una linea orizzontale, comprendendovi la sua propria, sarà adunque eguale a 416$^{ch.}$,50, che consideriamo come l'effetto costante al quale si deve limitare il suo sforzo.

Sopra un piano inclinato di 50 chil. di lunghezza e di 0$^{m}$,003 di pendenza per metro la resistenza sarà aumentata di 0,003 e quella della macchina diventerà

$$110^{ch.},50 + 14,000^{ch.} \times 0,003 = 152^{ch.},50,$$

che dedotti dai 416,50 ci lasciano 264 chil. per la parte della potenza della macchina che può essere impiegata a strascinare il convoglio.

Ma dacchè la resistenza del convoglio, aumentata dall'effetto della gravità, diventa:

$$0,0036 + 0,0030 = 0,0066,$$

lo sforzo della macchina che è posto in uso per il suo trasporto rappresentato da 264 chil. non potrà bastare a strascinare se non $\frac{264}{0,0066} = 40,000^{ch.}$ e la spesa essendo proporzionale alla lunghezza della linea percorsa, se la macchina costa 1 fr. e 20 cent. (3) per chil.

(1) G. de Pambour, *Trattato delle macchine locomotive*. Parigi 1835, pag. 181.

(2) G. de Pambour, pag. 182.

(3) Sulla strada di ferro da Manchester a Liverpool sono impiegate 32 macchine, delle quali 10 sono continuamente in attività e fanno ciascuna due viaggi al giorno percorrendo 120 miglia inglesi, ossia 192 chil.

Cinque di quelle macchine sono destinate al servigio dei viaggiatori, e trasportano per termine medio sei vetture contenenti 18 per-

sopra una linea di livello, la spesa per percorrere la linea intiera sarà di $50 \times 1^f,20^c = 60^f$, o di 2 fr. per tonnellata; poichè il numero delle tonnellate trasportate utilmente è di 30, e la spesa per tonnellata e chilometro è $\frac{2^f}{50} = 0^f,04^c$.

Sopra la linea di 30 chil. di lunghezza e di 5 millimetri di pendenza la resistenza della macchina diventerà

$$110,50 + 14,000 \times 0,005 = 180^{ch.},50.$$

La parte della potenza della macchina utilmente impiegata a strascinare il convoglio

$$416,50 - 180,50 = 236^{ch.},$$

potrà bastare a trasportare

sone, ossiano 2160 persone nelle 10 andate e ritorni, locchè forma il loro lavoro dell'intiera giornata.

Cinque altre vetture trasportano le mercanzie che ammontano a 500 tonnellate al giorno, essendo ogni convoglio composto di 12 a 13 vetture cariche di 25 tonnellate di mercanzia.

Nel 1833 la spesa delle locomotive è stata

| | |
|---|---|
| 1.° semestre . . . . . . | 370,956 82 |
| 2.° semestre . . . . . . | 352,039 33 |
| | 722,996 15 |

Il numero dei chilometri percorsi sarà stato di $192 \times 312 \times 10 = 599,040$, ed il prezzo di ogni chilometro $\frac{722,996,15}{599,040} = 1,20$.

Sulla strada di ferro da Saint-Étienne a Lione risultava dal riassunto delle spese che io avea fatto pel servigio delle locomotive durante i primi due anni dell'applicazione delle macchine al trasporto delle mercanzie, che sette di quelle aveano fatto 2576 viaggi, andata e ritorno da Lione a Givors, sopra una distanza di 17 chil. e che per ottenere questo risultato si erano spesi 49290 fr., e 88 cent. comprendendovi tutti i cambiamenti che era stato necessario fare ad un sistema di cui in gran parte era io l'inventore, almeno per quanto si riferisce alle produzioni del vapore, e comprendendovi anche le spese di riparazione, poichè nessuna delle macchine, e nemmen fra quelle che avean servito ai primi saggi, era ancora fuori di servizio.

Il prezzo del chilometro era adunque eguale a $\frac{49,290\ 88}{2,576 \times 34} = 0^f,565$, cui bisogna aggiungere l'interesse del danaro e le spese di amministrazione che non furon comprese in quella valutazione. Essendosi poi in seguito aumentato di molto il prezzo del *coke* ed avendo trasportato le macchine carichi più considerevoli, vengono attualmente a costare circa 0 fr., 90 cen. per ogni chilometro percorso. Ma attesa la tendenza evidente a nuove economie, io conteggio che si possa ridurre tal cifra a 0 fr., 80 cen. senza temere di errare considerevolmente.

$$\frac{236}{0,0036 + 0,0050} = \frac{236}{0,0086} = 27,400^{ch.},$$

$$\text{ossia} \quad 27,400 \times \frac{3}{4} = 20,550^{ch.}$$ (a)

di mercanzie, la cui spesa sarà espressa da

$$\frac{30 \times 1,20}{20,550} = 1^{f.},45^{c.}$$

per tonnellata per la distanza intiera, e da

$$\frac{1,45}{30} = 0^{f.},048$$

per tonnellata e chilometro sul piano inclinato di 0,005.

Perciò vi sarebbe economia di danaro e di tempo nell'adottare la linea più corta quantunque più rapida.

Per altro aumentando la resistenza della macchina insieme colla rapidità del piano inclinato, è chiaro che se si apre gradatamente l'angolo che fa il piano coll'orizzonte, si arriverà ad un punto in cui la forza intiera della macchina sarà impiegata a strascinare sè medesima, ed in cui l'effetto utile sarà per conseguenza del tutto nullo.

Per conoscere la lunghezza della linea e la proporzione della pendenza che corrisponde a tale inclinazione, indicheremo la proporzione con $P$; ed osservando che la forza della macchina è totalmente assorbita dallo sforzo che è obbligata a fare per strascinare sè stessa, avremo

$$110,5 + 14,000^{ch.} \times P = 416,50,$$

donde risulta

$$P = \frac{416,5 - 110,5}{14,000} = 0^{f.},0218.$$

La macchina senza convoglio sopra una pendenza di 0,0218, ossia di $\frac{1}{46}$ svilupperebbe la stessa forza e correrebbe colla stessa velocità come farebbe sopra una li-

(a) La frazione ...

nea orizzontale strascinando un convoglio di 80,000 chilogrammi.

Perciò, quando è d'uopo innalzarsi per mezzo di una strada di ferro ad un'altezza determinata fra due punti indicati, v'è una proporzione di pendenza che corrisponde alla minor spesa possibile. Dessa forma un medio termine fra i due estremi che condurrebbero egualmente al massimo della spesa, sia esagerando la lunghezza della strada per darle una pendenza infinitamente picciola, sia dandole una pendenza sì grande che la macchina non possa strascinare se non il proprio peso.

Ho indicato con quai mezzi si possa determinare tal limite. Per generalizzare i calcoli e per facilitare le applicazioni che se ne potrebbero fare sarò a ridurli in formule, sostituendo lettere ai valori assegnati al caso particolare ora da me risoluto.

Ciò si riduce a considerare la spesa come una funzione della pendenza ed a cercare col metodo dei minimi qual valore di questa pendenza corrisponda al più picciolo valore della spesa, locchè si ottiene differenziando l'equazione che esprime le relazioni di tali quantità, eguagliando le differenziali a o, e determinando le nuove relazioni che si stabiliscono fra loro in seguito a tal cambiamento nei loro rapporti

Sia dunque $x$, la spesa sopra la pendenza $z$ per percorrere la linea $y$.

$y$, la lunghezza della linea che corrisponde alle proporzioni più vantaggiose della pendenza.

$z$, la proporzione della pendenza relativa alla lunghezza $y$.

$e$, lo sforzo di cui è capace la macchina, espresso in chilogrammi.

$r$, la resistenza della macchina o la parte dello sforzo $e$ impiegato a strascinare il peso della macchina sopra un terreno orizzontale.

$f$, l'attrito sopra una linea orizzontale.

$p$, il peso della macchina.

$h$, l'altezza verticale cui si ha ad innalzarsi.

$a$, la resistenza della macchina relativa alla pendenza $z$.

*b*, la parte della potenza della macchina impiegata a strascinare il convoglio sulla pendenza *z*. (1)

*d*, la spesa della macchina per percorrere un chilometro con tutta la velocità corrispondente all' impiego di tutto il vapore che può produrre.

Essendo la pendenza, la lunghezza della linea e l'altezza verticale tre quantità connesse le une colle altre mediante le relazioni

$$yz = h,\quad z = \frac{h}{y},\quad y = \frac{h}{z}$$

si potrà sempre determinare una di esse quando si conosceranno le due altre.

Operando con lettere, come abbiamo precedentemente fatto colle quantità numeriche che esse rappresentano, avremo:

$$r + pz = a,\quad e - r - pz = b,\quad \frac{b}{f + z} = c,$$

$$x = \frac{yd}{c} = \frac{yd}{\dfrac{e - r - pz}{f + z}}$$

o mettendo in luogo di $z$ il suo valore $\frac{h}{y}$ e riducendo

$$x = \frac{y^2 df + ydh}{ey - ry - ph}.$$

Differenziando tale equazione si ottiene:

$$dx = \frac{(dy \cdot 2ydf + dy \cdot dh)(ey - ry - ph) - (dy \cdot e - dy \cdot r)(y^2 df + ydh)}{(ey - ry - ph)^2}$$

eguagliando la differenziale a zero e riducendo

$$\frac{dx}{dy} = y^2 (ef - rf) + y(2fph) - ph^2 = 0$$

da cui si ricava

$$y = \sqrt{ph^2 + \left(\frac{ph}{e - r}\right)^2 + \frac{ph}{e - r}}.$$

Sostituendo i numeri alle lettere avremo:

$$y=\sqrt{14{,}000\times(150)^2+\left(\frac{14{,}000\times150}{416{,}50-110{,}50}\right)^2}$$
$$+\frac{14{,}000\times150}{416{,}50-110{,}50}=25{,}889^{m.}$$

l'equazione $z=\frac{h}{y}$ ci darà la proporzione della pendenza sostituendo in luogo di $h$ e $y$ i loro valori. Sia

$$z=\frac{150}{25{,}889}=0{,}005794,\text{ sia }\frac{1}{172};$$

e si determinerà il peso che può strascinare la macchina su tale pendenza, per mezzo dell'equazione

$$c=\frac{b}{f+z}=\frac{e-r-pz}{f+z}=23{,}880^{ch.}.$$

La spesa per ciascuna tonnellata onde percorrere l'intiera linea, sarà

$$x=\frac{yd}{c}=\frac{25{,}889\times1^{fr.},20^{c.}}{23{,}880}=1^{f.},284.$$

E siccome bisogna aggiungere il peso dei vagoni che ammonta ad 1/4 del peso delle mercanzie; avremo per prezzo di trasporto delle mercanzie per ogni tonnellata e chilometro:

$$\frac{1{,}284\times\frac{4}{3}}{25{,}889}=0^{f.},065,$$

che corrisponde al prezzo il più basso fra tutte le combinazioni tra la pendenza e lo sviluppo della linea, quando si deve elevarsi ad un'altezza di 150 metri, nelle condizioni da noi prese ad esempio.

Questi calcoli, come pure tutti quelli dello stesso genere che si potrebbero fare, quantunque siano esatti in sè stessi, non ponno rischiarare che debolmente l'insieme delle condizioni che devono indurre un ingegnere a sceglier la direzione di una grande linea. La solu-

zione del problema è sempre collegata a tante altre considerazioni, ciascuna delle quali è abbastanza importante per far pendere la bilancia piuttosto da una parte che dall'altra.

Accadrà ben rare volte che si abbia un punto obbligato al principio ed alla sommità d'un piano inclinato e che la scelta della pendenza più debole prolunghi di molto la linea; d'altronde si dovrà considerare l'obbligo che s'incorrerà di dividere a' piedi del piano inclinato il convoglio in diverse parti, per ciascuna delle quali ci vorrà il servigio d'una macchina, e spesse volte per pochi momenti; si avranno anche a pesare gl'inconvenienti della discesa che si raddoppiano quando vi è contro-pendenza. Infine si dovrà por mente alla complicazione che arreca nel servigio l'esistenza del piano inclinato: e coloro che sono abituati a dirigere numerosi agenti sanno di quale importanza sia il semplificare le funzioni di ciascuno e ridurre il maneggio allo stretto necessario. Il servigio si fa meglio, la vigilanza è più facile, uomini e cose, tutto vi guadagna.

### III. Andamento della strada di ferro da Saint-Étienne a Lione.

L'andamento della strada di ferro da Saint-Étienne a Lione mi ha offerto con una estensione di 58 chil. i principali ostacoli che si possano incontrare in una strada di ferro: e perciò credo utile di far qui conoscere e le circostanze che si sono presentate, e i mezzi ai quali si ricorse per vincerle e la ragione per le quali tai mezzi furono adottati.

Io avevo distinto la linea in tre divisioni, a ciascuna delle quali avevo preposto un impiegato superiore per dirigere i lavori: la prima, che si estendeva da Lione a Givors, era stabilita sulla riva destra del Rodano e comprendeva una distanza di 18,787 metri. L'amministrazione dei ponti e strade aveva fissato l'altezza del selciato del ponte della Mulatière a 8 metri 31 centimetri al disopra dell'altezza media del fiume o sia a 170 metri, 43 cent. al disopra del livello del mare, e quella del ponte del canale di Givors a 159 metri ed 83 cent.

al disopra dello stesso livello. Perciò la differenza di livello fra questi due punti estremi si trovava essere di 10$^{m}$,60, ciò che dava una pendenza media di 0$^{m}$,00055 per metro.

Partendo, l'andamento dalla piazza Luigi XVIII a Lione dovette svilupparsi nella penisola Pérache sopra un'estensione di 2,200 metri. Si dovette attraversare per mezzo di due ponti di 60 metri ciascuno i due rami della darsena che la Compagnia ha fatto scavare pel servigio della strada di ferro all'uscita della penisola. Attesa la direzione della, linea fu indispensabile lo stabilire un ponte al confluente del Rodano e della Saône nel luogo medesimo ove sessanta anni prima se ne era edificato un altro che a capo di tre anni era stato portato via dal fiume. Una parte del luogo era ancora ingombrato dai materiali procedenti da quella ruina e l'altra parte altre volte occupata dal confluente offriva un fondo di belletta molle nella quale i piuoli entravano senza sforzo fino ad una profondità di 12 metri. In oltre io era obbligato a stabilire le fondazioni in linea parallela al corso del Rodano ed in obliqua a quello della Saône, circostanza cui si attribuiva generalmente la caduta dell'antico ponte. L'opinione pubblica era unanime nel biasimare quel lavoro ed io stesso ne temeva seriamente l'intrapresa. Stetti lungamente indeciso, meditando se non vi fossero minori inconvenienti e pericoli nel construire un ponte sospeso. Tuttavia considerando che tal sorta di ponti non era ancora abbastanza sperimentata e che v'era gran dubbio che potesse resistere ad un movimento sì considerevole come doveva essere quello della strada progettata, io rinunciai a tale idea. Sperava del resto che recando molte cure nella fondazione, e nella costruzione di un ponte di pietra, ed impiegandovi esclusivamente buoni materiali, arriverei a vincere le difficoltà della posizione. L'evento ha provato che io non mi sono punto ingannato.

In faccia e all'uscire del ponte della Mulatière la linea incontra un monticello lungo 400 metri formato per due terzi da granito rosso durissimo, e per un terzo da sabbia secca e scorrente. Si dovette superare que-

st'ostacolo col mezzo di una galleria. Al di là e sopra uno spazio di 5 a 6,000 metri si trovano alluvioni di fiumi che si sollevarono tre metri circa al disopra del livello ordinario dell'acqua, attraverso le quali si potè sviluppare la linea senza aver a vincere altro ostacolo che un torrente il quale esigette un ponte di 10 metri d'apertura e uno sporto di granito rosso di 250 metri di lunghezza, da cui si dovette levarne 10,000 metri cubici.

Si sarebbe potuto facilmente e senza un grande aumento di spesa disegnare in tutta questa estensione linee ben condotte e soggette a lieve pendenza. Ma apprezzando io allora assai imperfettamente, come ho già detto, l'estrema importanza di tale condizione mi lasciai sedurre dalla possibilità di fare un'economia di 50 a 60,000 franchi. Commisi quindi il duplice fallo di lasciar sussistere una pendenza e una contro-pendenza di $0^m$,005, e di trasportare la linea sopra poggi per evitare le ghiajate, dal che ne venne che dovetti disegnare una rete di curve di 500 metri di raggio mentre avrei potuto averne una sola in un tratto di 1,500 a 2,000 metri.

All'estremità della pianura la linea si dirige in un'estensione di 7 a 8,000 metri costeggiando il fiume, il quale dappertutto si allontana ben poco dalla costa che è in questo luogo dell'altezza di 15 a 20 metri. E questa costa è di graniti tramezzata da schisti; e più d'una volta per stabilire curve di 500 metri, succedentisi spesse fiate le une alle altre, ho dovuto o condur la linea nel fiume, sostenendo il rialto con un muro a secco, o tagliare la roccia della costa fino a 12 o 15 metri d'altezza.

Le difficoltà di questo stretto passaggio furono ancora aumentate all'incontro di tre villaggi: si potè ciononondimeno evitarne uno, approfittando di un'isola di sabbia sulla quale fu diretta la strada tagliando i due rami del fiume.

Di là e fino a Givors, per un tratto di 4 a 5,000 metri, non si ebbero più a percorrere che terreni alluviali. Una sola costa gli attraversa ed io ebbi cura di farla tagliare nel senso della maggior lunghezza, di 640

metri; operazione che mi produsse 100,000 metri cubici d'eccellente ghiaja per appianare tutte le ineguaglianze per mantenere in seguito la via in buono stato.

Da Givors a Rive-de-Gier il tracciato si sviluppa sopra 15,644 metri. Quest'ultima città, al selciato della strada reale, nel punto preciso in cui son poste le rotaje della strada di ferro, è alta $235^m,23^c$ al disopra del livello del mare per lo che la differenza di livello con Givors è dunque di $235^m,23^c$-$159^m,83^c$, ossia $75^m,40^c$, ciò che rappresenta una pendenza media di $0^m,0048$; tuttavia questa pendenza fu regolata a $0^m,00596$ nella parte più importante e più frequentata della linea, dovendo il di più servire a compensare la pendenza minore che doveva esservi nei punti di carico.

Questa seconda divisione può come la prima distinguersi in tre parti i cui accidenti sembrano avere qualche analogia con quelli dell'antecedente. Dapprima la linea si sviluppa con sufficiente facilità nell'estensione di 4,000 metri sul fianco destro dello sbocco della valle; in quel luogo incontra un monticello alto da 50 a 60 metri che fu dapprima attraversato con un foro provvisorio per una sola rotaja il quale fu poscia ridotto a taglio aperto. Al di là di quel monticello la valle si ristringe e si contorce; e per una lunghezza di 6 a 7,000 metri la linea è quasi continuamente praticata o mediante fori, o nel letto d'un rapido torrente, che nelle grandi piene ha la forza di staccare pezzi di roccia di $0^m,018$ ossia 54 chil. circa.

Tal passaggio ha reso necessario l'apertura di nove fori a traverso massi di roccia granitica o schistosa: e vi si è spesa intorno gran quantità di tempo e di denaro, perchè la configurazione del terreno non si prestava quasi mai all'apertura dei pozzi che sarebbero stati d'un gran soccorso per il lavoro dei sfori. I passaggi nel letto di fiumi in numero di quattro dovettero essere stabiliti su terrapieni l'uno dei quali di 60,000 metri cubici, e fu necessario il garantirne il piede con muri a calce protetti da intelajatura di pali e di tavoloni infissi nel terreno fortemente insieme collegati con travi traversali.

Più lontano la valle si allarga per lo spazio di 2,000 metri, vale a dire fino a Rive-de-Gier, e la via potè condursi sulla costa della ripa destra, e vi si poterono stabilire con poca spesa curve sufficientemente sviluppate.

Colà si presentava la città di Rive-de-Gier cui bisognava attraversare; sia seguendo le sponde del Gier, locchè costringeva a condur la linea per curve di corto raggio, ed esigeva la demolizione d'un gran numero di case; sia forando il monticello sul quale la città è fabbricata. Diedi la preferenza a quest'ultimo partito, sebbene non fosse esente da difficoltà; perocchè bisognava condurre i lavori attraverso scavi anticamente praticati per estrarre il carbon fossile, scavi che erano stati abbandonati da lungo tempo e dei quali non si avea alcun disegno che ne indicasse la direzione e l'estensione; inoltre nel terreno stesso che dovea esser attraversato dal foro esistevano strati di carbon fossile rimosso alla profondità di 2 a 300 metri, ed altri strati meno profondi che erano ancora intatti.

L'imperturbabilità dimostrata a fronte del mio progetto dagli abitanti posti sopra questi abissi, come anche le occupazioni delle quali io era sopraccaricato fecero sì che io non recai nell'esame di tale quistione tutta l'attenzione e le cure che richiedeva. Se avessi studiata la cosa più addentro, e se avessi acquistata una più esatta cognizione dei luoghi, mi sarei probabilmente indotto a trovare qualche altra combinazione preferibile a quella allora adottata, ed avrei potuto prevedere ed evitare un tenue cedimento che si scoperse più tardi, a cagion del quale si dovette rialzare una parte della galleria. Ma i lavori che si sono abbassati erano situati a sì grande profondità, ed il moto si fece con tanta lentezza che noi potemmo dapprima attribuire la picciola differenza osservata nella sezione del foro ad un errore di livellazione. Restammo quindi nell'incertezza, e quando il cedimento giunse a $1^{m},60$ si dovette rialzare il colmo della volta per circa 300 metri di lunghezza; locchè non costò meno di 80 a 100,000 franchi.

La galleria ha 1,000 metri di lunghezza. L'entrata dalla parte inferiore passa fra argille schistose umide.

Vi si erano anticamente praticate gallerie per le quali era stato rimosso il terreno, e quando si cominciò a sgombrare l'apertura che dovea precedere il perforamento, il terreno che si teneva aderente sul pendio della montagna scoscese, strascinando seco i muri fiancheggianti il taglio e le gallerie, la quali dovettero essere ricominciate fino a tre volte per un'estensione di 15 a 20 metri.

La terza sezione della linea da Rive-de-Gier a Saint-Étienne è lunga 20,575 metri. Essendo quest'ultima città a $529^m,926$ al disopra del livello del mare, la differenza di livello è di $278^m,528$, locchè costituisce una pendenza media di $0^m,01294$: venne a questa ripartita fra $0^m,0057$ livello più dolce nel luogo di carico a Saint-Étienne, e $0^m,01378$ livello della parte inferiore della linea.

Da Rive-de-Gier a Terre-Noire per uno spazio di 17,000 metri, la linea posa sul fianco delle balze che fiancheggiano la riva destra del Gier fino a Saint-Chamond e del Janon fino a Terre-Noire. Tutte queste coste sono formate da un ammasso di un pietrimento ghiajoso a grossi ciottoli irregolari interamente ricoperto da leggero strato vegetale di maniera che i tagli vi sono difficili e dispendiosi. La linea s'allontana dapprima, poi si avvicina insensibilmente al Gier e al Janon al disopra dei quali s'innalza di 27 metri. I due fiumi si congiungono a Saint-Chamond. Questa parte della linea ha reso necessaria l'apertura di tre estesi fori, e la costruzione di duc ponti molto elevati; la cubatura dei terreni che si sono rimossi per tagli e colmate è di circa 250,000 metri.

A Terre-Noire la linea raggiugne il Janon. Fu praticato in questo luogo un'apertura di 1,500 metri per una sola rotaja. Tal apertura dischiude il passo ai versanti del Mediterraneo pei fiumi Rodano, Gier e Janon a quelli dell'Oceano per le acque del Furens e della Loire. Fu essa praticata a traverso di terre fossili, di schisti, di arenarie e di argille; locchè fu causa di numerosi inconvenienti e per conseguenza di spese considerevoli.

Finalmente da Terre-Noire a Saint-Étienne la linea si sviluppa attraverso grandi tagli e grandi terrapieni,

ONI.

lari obbli-
ggior nu-
li di quello

ssati mol-
e della li-

i impiegati.
Parigi.

nobbe che
o deboli, e
di doppio

Pag. 81.

non presenta più altri accidenti eccezionali, e viene a terminare al luogo di carico. Siffatto luogo situato in modo assai favorevole per questa operazione e per là spedizione del carbon fossile è disgraziatamente troppo lontano dalla città, per cui riesce incomodo ai viaggiatori che frequentano la strada. Non essendosi in origine potuto prevedere all'incominciar dell'opera il movimento dei viaggiatori a cui si sarebbe poscia giunti, io attribuii alla ripetuta località un'importanza del tutto secondaria, e credei dover troncare la linea a quel punto, ma sarebbe assai facile il prolungarla fino al centro della città mediante una galleria che attraversasse una altura di terra fossile di eccellente qualità; ed è anche probabile che la compagnia si determini in avvenire ad adottare questo partito.

La strada di ferro ci venne aggiudicata il 27 marzo 1826: l'ordinanza reale che ci autorizzava a costruirla emanò il 7 giugno dello stesso anno, e quella che ne approvava il tracciato, il 4 luglio 1827. Però essendo assai sollecitato dalle circostanze, ed incoraggiato dall'appoggio del governo, feci cominciare i lavori di esecuzione fin dal mese di settembre 1826. In ottobre 1827 la linea era terminata sopra diversi punti per una complessiva lunghezza di oltre 10,000 metri; e si era speso circa un milione di franchi.

Ora metterò sott'occhio il preventivo delle spese come io lo determinai allora, aggiugnendo i prezzi a cui ammontarono i lavori, affinchè si riconosca quali sieno state le partite andate soggette alle maggiori differenze. Non si deve però scordare esaminando tale prospetto che la poca pratica che si aveva in Francia in opere di tal indole, faceva sì che io, e tutti quelli ch'eran meco, fossimo nella necessità di fare un vero tirocinio.

La differenza tra la cifra precalcolata e la vera procede soprattutto da ciò che dovendo spesso condurre la linea a grandi profondità sotto la superficie del suolo era impossibile il prevedere la natura dei terreni che si sarebbero incontrati. Da tale inscienza dovevano necessariamente risultare grandi incertezze, non solamente nella valutazione delle spese, ma ben anche nel genere

6

dei lavori che si sarebbero dovuti eseguire. Alcuni monticelli cui si era progettato di forare, dovettero invece essere resi praticabili a taglio aperto, mentre altri nei quali non si credeva di trovare sufficiente solidità per praticare i fori vi si trovarono molto idonei. In pari modo nei gran tagli si sono incontrate considerevoli variazioni nella natura dei terreni, e parecchie volte ne conseguirono scoscendimenti di terre e di roccie per molte centinaja di metri, onde si dovettero spostare enormi masse di materiali. Questi sono accidenti inerenti alle località, e non si potrà mai sperare di sfuggirvi quando si avrà ad operare in eguali circostanze.

IV. Dell'andamento generale di una linea di una strada di ferro fra due punti determinati.

Fissati una volta i punti di partenza e d'arrivo di una strada di ferro, il complesso della direzione deve aver di mira la condizione dei minori sgombramenti possibili. Fissato questo principio, l'esecuzione di tutte le parti vi deve essere rigorosamente subordinata. La necessità di descrivere curve di grande raggio, e di limitarsi ad una gradazione di declivio determinato, prescrive imperiosamente i luoghi pei quali si dovrà passare. Quali che siano le difficoltà che vi si debbano incontrare, bisogna vincerle: la menoma deviazione delle linee può bastare a produrre nella direzione generale cambiamenti considerevoli, a far allungare le gallerie ed aumentare gli scavi ed i rialzi in una progressione sorprendente.

Accade però che anche durante l'esecuzione dei lavori s'incontrino accidenti o cambiamenti non preveduti nella natura dei terreni, dai quali emerga una impossibilità materiale di uniformarsi al piano da prima adottato. In tal caso si può essere forzati o a far deviare o a trasportare da un punto ad un altro una porzione più o meno grande della linea. Tal circostanza è sempre funesta al buon andamento del tracciato e non v'è altro rimedio che quello di racconciare col resto, meno male che si possa, la parte che si è dovuto spostare. Non potrei dar regole fisse su quest'oggetto: la circostanza fa legge.

Quando si è angustiati dal tempo, avuto riguardo agli studj particolari de'quali è mestieri occuparsi per fissare definitivamente il tracciamento, torna indispensabile la divisione del lavoro. Conviene allora confidare queste parziali operazioni a quelli impiegati che esercitano la loro sopravveglianza nei luoghi ove devono essere eseguite. Questa prima operazione li mette in istato di famigliarizzarsi colla cognizione dei terreni e colle difcoltà che avranno a superare; e li mette anticipatamente in relazione coi proprietarj, dai quali si avranno a comperar fondi per il passaggio della linea. Siffatti vantaggi sono meno lievi di quanto si potrebbe generalmente supporre, ed un buon pratico non trascura mai di assicurarseli quando ciò gli è possibile.

Ogni tracciamento definitivo deve essere preceduto da un provvisorio che abbia per iscopo il riconoscere in qual guisa la pendenza debba essere ripartita su tutta l'estensione della linea. L'ingegnere ne approfitta altresì per fissare le direzioni generali e per determinare approssimativamente la lunghezza dei rettifili e delle curve che ne devono comporre il complesso. A questo scopo ei si gioverà efficacemente delle mappe del catasto che abbracciano tutto il paese su cui la linea si può estendere, e vi segnerà provvisoriamente una serie di punti sui quali dovranno essere fatti il profilo in lungo ed i profili traversali. Questi piani levati ordinariamente sulla comoda scala di 0$^m$,001 per metro, indicando esattamente le proprietà particolari, e le specialità della divisione del suolo; offrono ogni facilità per rilevarvi prontamente come concordino colle variazioni del terreno. Sono perciò di un gran soccorso per raccoglier note ed osservazioni, e per fare tutte le ricerche delle direzioni che può esser necessario di tentare onde determinarsi con maggior certezza per quella che dovrà essere più vantaggiosa.

Si deve anche per tal sorta di esperimenti aver cura di munirsi d'un piccolo livello a bolla d'aria fissato sopra di un metro, in forma di canna, col sussidio del quale si può misurare approssimativamente il declivio del terreno e far corrispondere i diversi punti della

linea coi punti di richiamo della livellazione generale. Devo però dire che invano io ho cercato presso gli ottici uno strumento che potesse servire a tal oggetto, e che fui obbligato a costruirne uno io stesso; a questo fine stabilii al disopra del livello una picciola alidada, o semplicemente un regulo diviso a gradi, atto a precisare l'inclinazione del raggio visuale, che passa da una parte per l'uno de'suoi punti e dall'altra per la parte superiore del livello. Ho desiderato molte volte che qualche abile artista volesse occuparsi del modo di combinare ed eseguire uno stromento comodamente applicabile a tal uso.

Ho trovato eziandio grande vantaggio nel servirmi, per questi primi studj, di modelli di legno fatti sulla medesima scala dei tipi, e rappresentanti curve di diversi raggi, ma soprattutto del più picciolo di cui sia permesso valersi. Quando si sono demarcati sul tipo i punti fissi, ed una serie di altri punti a cui si abbia ad accostarsi o dai quali abbiasi ad allontanarsi il meno possibile, si appostano questi segmenti di circoli, che sono veri regoli circolari, in modo di avvicinarli gli uni agli altri in condizioni conformi a quelle che si devono seguire. Si disegnano quindi sul tipo gl'incrociamenti delle linee delle quali si determinano graficamente le tangenti ed i raggi, e che servono di norma a stabilire i disegni che si avranno a tracciare dietro operazioni più esatte.

Allorquando questo primo studio è sufficientemente maturato e che si sono terminati i profili di lunghezza ed i trasversali sull'asse provvisorio, si procede al lavoro di tavolo. Si discute allora ponderatamente qual è l'andamento che richiede minori movimenti di terra, circoscrivendo il progetto nei limiti delle curve e delle pendenze da cui non si può dipartire. Questa seconda linea, tracciata se è d'uopo sopra un nuovo disegno, se il primo è già troppo confuso, servirà a sua volta come punto di partenza per un più ampio e più minuto esame, e sarà suscettibile di tutte quelle nuove correzioni che si giudicheranno atte a sempre più migliorarlo.

Si può in seguito intraprendere il disegno del piano

definitivo che dovrà indicare con tutta l'esattezza possibile le gradazioni di livello, la lunghezza percorsa da tutte le linee e le variazioni di terreno con tutte le loro particolarità.

Ciò posto non resta a far altro che a fissare sul terreno i punti corrispondenti a quelli che sono disegnati sui tipi.

La disposizione del terreno rende alcune volte questa operazione assai difficile. Bisogna in tal caso scegliere sul terreno stesso alcuni punti ben stabili che si riportano esattissimamente sul disegno; poi si riscontrano col punto che non si è potuto stabilire, avendo cura di misurare con precisione la loro rispettiva distanza, non che gli angoli che formano nel piano dei loro lati e coll'orizzonte: codesti nuovi punti sono destinati a ristabilire in caso di bisogno col mezzo di una breve operazione il punto indicante il vero passaggio della linea. Questo lavoro sopra luogo, per quanta cura siasi messa nel moltiplicare i profili trasversali, fa sempre scorgere la necessità di alcune modificazioni nel tracciamento. Lo stesso accade non di rado durante l'esecuzione dei lavori. Vi sono combinazioni di terreno che è impossibile di prevedere, sia nell'ispezione dei luoghi sia giovandosi anche dello scandaglio, combinazioni le quali, lorchè i lavori sono avanzati ad un certo grado, fanno riconoscere che la configurazione del suolo è al tutto diversa da ciò che si era dapprima creduto. Ne risulta talvolta che vi sarebbono tali inconvenienti a seguire il progetto fissato, che si è obbligati a cambiare la direzione della linea. Per esempio, io ho trovato molte volte che alte roccie quasi perpendicolari, nelle quali si trattava di praticare dei tagli, erano intersecate al loro piede da vene di argilla inclinate sulla linea, attraverso le quali aveva luogo una stillazione quasi insensibile, e su cui la massa intiera della roccia non avrebbe mancato di scoscendere, fino a precipitare per tal modo sulla via. Altre volte ho osservato che un movimento analogo che si operava sulla parte ascendente del profilo trasversale della linea, agiva su tutto il terreno fino alla parte più bassa, dimodochè tutto il rialto tendeva

a spostarsi con un movimento lento e continuo e senza che esistesse nè rottura nè interruzioni nè scoscendimenti. Non parlo poi dei terreni carboniferi, nei quali si danno tali cedimenti che producono spesso spostamenti di più metri. Quando si hanno a traversare simili località bisogna fare uno studio ben esatto di tutti i lavori che possono essere stati praticati anticamente, e prendere in considerazione il pericolo che può correre la linea di essere guasta da lavori posteriori. I movimenti di terreno occasionati dallo scavo delle miniere possono estendersi in tutti i sensi a grandissime distanze, e bisogna prendere in seria disamina quelle probabilità soprattutto quando si devono praticare dei fori. Del resto tali movimenti non accadono solamente nei terreni carboniferi in attività di escavazione; la geologia ci somministra l'esempio di molti grandi paesi che si spostano lentamente; ed ebbi io stesso ad osservare in Borgogna, presso Montbart, parecchi villaggi i cui campanili sono oggi visibili per intiero da posizioni dalle quali non si scorgevano per nulla 50 o 60 anni fa.

L'incominciamento dei grandi lavori, particolarmente nei tagli a due pareti che si fanno all'entrata dei fori, produce qualche volta il sollevamento del suolo della linea. Ciò accade soprattutto quando il terreno inferiore è più suscettibile d'essere diluito nell'acqua di quello sovrapposto. Se non si procede a procurarvi un facile scolo possono nascere molti inconvenienti. Per ridurre a miglior stato simili passaggi che non ho potuto schivare, mi sono trovato nella necessità di scavare dei canali fino a due metri al disotto della linea, ed a stabilire partendo da quel puuto dei muri di cotto grossi un metro, distanti quattro metri e protratti fino nella scarpa.

Ogni volta che un cambiamento recato nel tracciamento fa variare la lunghezza della linea, porta altresì una variazione proporzionata nell'elevazione dei punti che si trovano nella parte obbligata ad una medesima proporzione di pendenza; perchè allunga od accorcia lo spazio nel quale deve essere ripartita la differenza di altezza fra le estremità. Per conservare l'uniformità della pendenza

bisogna dunque ad ogni correzione fatta nell'andamento ricominciare la ripartizione in conformità della nuova lunghezza adottata. Quando si conosce come un tal lavoro sia lungo e complicato, si comprende perchè i particolari del profilo in lungo delle strade di ferro offrano in generale molte irregolarità. Benchè in certi casi questi difetti sieno di leggera importanza, giova tuttavia evitarli per quanto si può. Gli uomini dell'arte, e il pubblico stesso, quando giudicano un lavoro, non ammettono facilmente come scusa d'una negligenza la ragione che sarebbe occorso troppo tempo e troppa cura per rimediarvi. È cosa tanto facile il riconoscere i falli d'un disegno quando è eseguito che di sovente si dura fatica a spiegare come gl'ingegneri possano commettere errori sì numerosi. Ma si diverrà più tollerante e meno pronto a giudicare sfavorevolmente di alcune scorrezioni, quando si voglia por mente alle difficoltà ed agli ostacoli che s'incontrano in tale operazione, e tutto il tempo e tutta la riflessione che bisogna consacrarvi per superarne soltanto una parte. Del resto è tanto meno facile l'evitare quei falli da che l'ingegnere non istudia egli solo e da sè stesso tutte le parti della linea. Gl'impiegati ai quali è confidata la direzione dei diversi punti, accordando anche ad essi eguaglianza di merito, non hanno però tutti eguale cognizione ed indole di spirito inventivo: essi sono più o meno atti ad appigliarsi a disposizioni favorevoli, e ad adottare a prima vista le direzioni che possano essere più probabilmente mantenute indipendentemente dall'inscienza, in cui si è intorno alla natura dei terreni da attraversarsi. Non bisogna dunque far pesare sull'ingegnere solo una troppo grave responsabilità. D'altronde la materia è ancor troppo nuova e chi se ne ingerisce non ha per guida che indicazioni insufficienti, alle quali io m'ingegnerò di aggiungere alcunchè, esponendo i particolari di alcune operazioni pratiche che ebbi occasione di eseguire. Se in altre occasioni si presenteranno le medesime circostanze potrà essere utile lo studio di ciò che è stato fatto, e non resterà che a decidere in allora a seconda dei casi, se convenga servirsi semplicemente dei medesimi mezzi,

o se si abbiano a modificare, od a combinare con altri metodi.

### V. Del tracciamento delle linee rette.

Il tracciato d'una linea retta è in apparenza la cosa più semplice del mondo: tuttavia allorquando questa linea deve avere una certa estensione si è alcune volte in grande imbarazzo per dirigerla con precisione. Ciò accade sopra tutto quando deve attraversare luoghi molto ineguali, ingombrati da alberi, da costruzioni, o da qualunque altro ostacolo che impedisca di abbracciarne facilmente il tutto insieme. Prima di cominciare alcun lavoro di esecuzione è cosa importantissima l'essersi assicurati che tutti i punti che si sono stabiliti si trovino esattamente in dirittura. Si comprende facilmente che incontrandosi nel passaggio della linea considerevoli tagli, alti terrapieni, fori, qualche fiume, ecc., un errore riconosciuto dopo il fatto potrebbe rendere necessarie sì enormi spese per correggerlo, che bisognerebbe per forza lasciarlo sussistere, e un'imperfezione di tale specie è d'altrettanto più dispiacevole in quanto non la si può assolutamente occultare. Che si faccia variare il raggio d'una curva in maniera di far passare la linea per quanti punti si vogliano, l'occhio non condannerà tali giravolte che gli sembreranno sempre sottoposte ad una legge qualunque di continuità, ma giudica assai più severamente i minimi falli d'una linea retta, e si sa quanto la minima deviazione sia sensibile da qualunque distanza si scorga.

Quando si deve tracciare sul terreno una linea retta molto estesa e di una lunghezza determinata, si devono avere due punti almeno che ne stabiliscano la posizione e la direzione. Se ostacoli fisici non permettono di segnarla con pertiche infisse nel suolo, è d'uopo allora di ricorrere a mezzi indiretti. Si disegna perciò in quella direzione che si vuole un'altra linea che si fa corrispondere per alcuni punti a quelli della prima di cui la posizione è già fissata; poi si riporta il tutto su di un piano ben esatto. Questa nuova linea può compor-

tare senza inconvenienti una serie più o meno numerosa di frazioni, perchè l'apertura degli angoli e la lunghezza dei loro lati siano esattamente misurate. Vale anche meglio, a rischio di moltiplicare le irregolarità, lo scegliere i luoghi comodi, come le strade, le sponde di un fiume, ecc., che offrono comunicazioni facili con la presunta direzione della linea definitiva.

Si deve usare la massima attenzione nel misurare l'inclinazione che tutte le parti della linea provvisoria formano coll'orizzonte, e farne la riduzione; perchè è cosa essenzialissima che ciascuno dei punti che si scelgono per alzare delle coordinate sulla linea principale, corrisponda esattamente a distanze orizzontali, ed è evidente che misurandoli in una direzione inclinata si sarebbe esposti ad incorrere in gravissimi errori.

Tale operazione è semplicissima e non presenta alcuna difficoltà. Credo tuttavia dover dare un esempio del modo con cui si abbiano a praticare, non tanto per insegnarlo, come per rammentare tutte le precauzioni e le cure che vi si devono mettere.

Sia una linea *AB* (tav. I, fig. 1) della lunghezza di 3,000 metri che si abbia a disegnare lunghesso un fiume. Supponiamo che diversi ostacoli non permettano di recarsi sulla sua direzione, e di legare direttamente le diverse parti le une colle altre con un' operazione grafica qualunque. Si sceglierà una serie di punti *C,D,E, F,G,H,I,K,* situati più comodamente che sia possibile per adattarsi a tal condizione. Si misurerà esattamente la distanza che li separa, e gli angoli che formano tra loro nei diversi piani che li contengono, come anche la loro inclinazione all'orizzonte, ciò che permetterà di disegnare un profilo in luogo, *A', c, d, e, f, g, k, B'*, che servirà a calcolare le lunghezze *A'c', c'd', d'e'*, ecc., esprimendo quelle delle linee *AC', CD', DE'*, ecc., che loro corrispondano, riportate all'orizzonte. La somma di questa ultima linea equivale evidentemente alla lunghezza della linea *AB*. Finita quest'operazione si sceglieranno i punti *r, s, t, u, v, x, y, z,* in maniera di poter stabilire comodamente le coordinate *rr', ss'*, ecc., la cui posizione determinata che sia, e quando ne sia cal-

colata la lunghezza e ridotta all'orizzonte servirà a fissare i punti *r', s', t', u', v'*, pei quali dovrà passare la retta.

Li rettifili intermedj si ponno in seguito fissare con lunghe pertiche che si devono tener ben perpendicolari mediante i fili a piombo, oppure appostandosi sopra un luogo elevato, e disegnando con un istromento munito di un'alidada sferica una linea di sostituzione parallela alla direzione della linea principale, se non è possibile di appostarsi in quella medesima direzione.

Si può anche per guadagnar tempo, e allorquando la disposizione dei luoghi vi si presta, impiegare il mezzo delle parallele pel tracciamento delle rette di grande estensione. Supponiamo, per esempio, che in *M* esista un campanile, od un altro edificio elevato, che permetta dj dominare tutte le campagne intorno. Si comincerà a determinare la più breve distanza orizzontale dal punto *M* alla linea *AB*, e si fisserà un altro punto *N* lontano più che sia possibile da *M*, e la cui distanza orizzontale fino alla linea *AB* sia la stessa che quella del punto *M*. In seguito si situerà in *M* un circolo azimutale, istromento munito di una lente fissa all'uno de' lati di un asse che gira orizzontalmente sopra una tavola graduata ed intorno alla quale la lente può girare verticalmente. Si stabilirà in livello perfetto il circolo orizzontale dell'istromento principalmente nella sezione perpendicolare alle linee *AB, NM*. Poi si sceglierà una serie di punti *O,P,Q*, che colla maggior esattezza si indicheranno mediante altrettanti capi stabili. Si girerà allora la lente facendo descrivere al suo asse un arco di 180 gradi, e si assicurerà che la serie dei punti *N,O, P,Q* si trovi sempre nella medesima dirittura. Dopo aver riconosciuto che l'asse ottico della lente si trova esattamente in un piano verticale, si porranno definitivamente i punti *O,P,Q*, ecc. in tal posizione da cui si possa più facilmente richiamarsi alla direzione della linea *AB*.

Finita tale operazione si determineranno col sussidio di quei punti, e con un' operazione grafica simile a quella testè descritta, altri punti appartenenti alla linea

*AB*. Bisogna ben osservare che la posizione dei punti *O*,*P*,*Q*, ecc., come anche quella del punto che essi hanno servito a fissare sulla linea *AB*, non è conosciuta che relativamente al posto che occupano in piani verticali passanti per i due punti *M* e *N*, *A* e *B*. Ma non avendosi alcun mezzo di riconoscere la lontananza orizzontale o verticale di questi punti, sia fra loro, sia fra li punti *B* e *M*, *A* ed *N*, è sempre preferibile il determinare direttamente alcuni punti sopra la linea *AB*, quando si può farlo, col sussidio di una rete di linee.

Quando le linee rette devono essere segnate attraverso di terreni di difficile accesso, e quando la loro estensione deve necessitare parecchj fori, può accadere che il tracciato ed il rapporto di una linea fittizia non possano aquistare un grado sufficiente di certezza per essere contrariate da diversi ostacoli. Vi sarebbe allora tanto maggior pericolo d'inciampare in errori, in quanto non sarebbe più tempo di correggerli, allorchè l'attivazione della linea li facesse conoscere. Bisogna in tal caso segnare la linea fittizia nel piano verticale della linea definitiva, e quando un certo numero di punti è ben fissato e ben verificato, è facilissimo lo stabilirne con precisione quanti se ne vuole da un fianco all'altro della montagna.

Tali operazioni, come ognun vede, sono assai complicate, ed è necessario il farle con grande esattezza e ricominciarle più volte per esser ben certi che siano esenti da ogni errore.

Gl'impiegati che non sono esercitati in questa sorta di lavori inclinano sempre troppo a credere che la cosa più importante per essi sia quella di maneggiare abilmente gl'istromenti d'arte, e non sono mai penetrati dalla verità che non è meno essenziale il non trascurare alcuna di quelle picciole cure e di quelle minute particolarità, l'omissione delle quali è quasi sempre causa degli errori che si commettono.

La misura degli angoli col metodo della ripetizione è senza dubbio un'operazione difficile che richiede attenzione, intelligenza e molta abitudine, ma è d'uopo pur anco accordare molte cure e molta esattezza alla collo-

cazione dello strumento nella posizione del punto già osservato al livello esatto del circolo orizzontale alla trascrizione sul fogliaccio in modo ben retto, ben chiaro, e ben leggibile della lunghezza delle linee, degli angoli ecc., ed infine all'annotazione esatta dei segni positivi e negativi delle quantità. Allorquando la dimenticanza di una di queste precauzioni ha causato un errore, si dura tanto più fatica a rilevarlo, quanto si è meno disposti a ricominciare come si dovrebbe il lavoro da capo per fare tutte le verificazioni, facendo variare i punti estremi, ed operandone in seguito il ragguaglio. Si è piuttosto proclivi a riprendere le operazioni nello stesso ordine per vedere se non vi sia stata omissione alcuna: eppure ognuno sa quanto sia facile che l'occhio lasci trascorrere di nuovo ciò che gli è sfuggito una prima volta.

## VI. Delle curve.

Il tracciato primitivo di una strada di ferro è sempre composto unicamente di linee rette accostate le une alle altre e formanti fra loro angoli più o meno grandi. Il progetto della strada da Saint-Étienne ad Andrieux fu presentato in questa forma ed approvato dall'amministrazione dei ponti e strade. Si procede in egual modo sul terreno, vale a dire che vi si traccia dapprima la rete delle linee rette come se dovesse essere seguita esattamente nell'esecuzione dei lavori. Egli è in un'operazione posteriore e del tutto indipendente dalla prima che si riuniscono con curve che sono ad esse tangenti.

Quelle curve devono sempre essere sviluppate sopra il maggior raggio possibile; è questo un principio che la pratica conferma ogni giorno. Si è tentato invano di modificare le macchine e le vetture per renderle atte ad agire sopra curve di corto raggio. Si è dovuto ben presto accorgersi che tali mezzi, applicabili tutt'al più in alcuni casi particolari, non possono in alcuna guisa essere impiegati nella costruzione di una strada di ferro destinata ad un grande movimento.

L'invenzione più rimarchevole che sia stata fatta allo scopo di diminuire il raggio delle curve è dovuta al si-

gnor B. Laignel ingegnere civile, autore di parecchie utili invenzioni. Egli osservò che per far girare i carri sulle curve altrettanto facilmente che sulle rette, basterebbe accrescere il raggio della ruota che posa sulla curva esteriore relativamente al raggio della ruota opposta, nella stessa proporzione che esiste fra i raggi delle due curve interna ed esterna da cui è formata la via. Pensò quindi che si potrebbe risolvere la quistione aggiungendo alla ruota un secondo risalto che servirebbe di orlo a ritenerla sulle guide nelle linee rette, e che nelle curve poserebbe sopra un allargamento delle guide esteriori.

Un saggio di questo sistema fatto in picciolo è stato coronato da un pieno successo: ecco il calcolo sul quale il signor Laignel lo ha stabilito.

Sia *AB* (tav. II, fig. 3) la lunghezza del raggio della curva esteriore, ed *AC* quella della curva interna di una strada di ferro disposta per essere percorsa parallelamente al suo asse da carri le cui ruote esterne poserebbero sopra il risalto e le ruote interne sopra il loro quarto. Sia *BD* il diametro della ruota preso sopra il risalto, ed *EC* il diametro preso sopra il quarto, quest'ultimo diametro essendo di $0^m,76$, e il risalto di $0^m,02$ si avrà

$$BD : EC :: BA : CA;$$

e poichè $CA = AB - 1^m,50$, larghezza della strada, si ha

$$0,80 : BA :: 0,76 : BA - 1,50$$

per cui si trova $BA =$ a 30 metri.

Ma perchè l'esito fosse perfetto bisognerebbe ancora che gli assi delle ruote fossero entrambi inclinati all'asse longitudinale del carro, in tal guisa che la loro direzione coincidesse nel punto *A*, centro della curva, e formasse le direzioni *FA*, *GA*, accadrebbe allora che quando la curva cambiasse segno, o, in altre parole, quando rivolgesse la sua convessità dal lato di *A*, la tendenza della ruota a sortir dalla via diventerebbe doppia di ciò che dessa è sulla curva *AF*, con assi paralleli.

Per evitare tale inconveniente si è proposto di non fissare invariabilmente ai carri le bussole e sostegni nei quali giran le estremità degli assi. Vi si lascierebbe al contrario un poco di spazio, ma si legherebbe con ver-

ghe di ferro inflessibili la bussola $X$ con $Y$, e quella $U$ con $V$. Questo metodo permetterebbe agli assi di prendere le posizioni inclinate $AF$, $AG$, oppure $A'F$, $A'G$ a qualunque distanza fosse il punto $A$, e poichè lo sforzo dell'orlo delle ruote sulle guide tende sempre a ricondurle nella posizione che presenti minor resistenza, il sistema intiero troverebbesi naturalmente nella condizione più favorevole per mantenersi sulle guide.

Si calcolerebbe lo spazio che si dovrebbe lasciare fra le bussole delle ruote e i loro sostegni, osservando che si ha

$$AU : AX :: UY : XV$$

oppure

$$30 : 28{,}50 :: 1 : XV;\ XV = 0{,}95.$$

Bisognerebbe per conseguenza lasciare 0,025, di spazio da ogni parte, vale a dire in tutto la differenza tra $UY$ e $XV = 0{,}05$.

Ma tale inconveniente non sarebbe il solo che s'incontrerebbe nell'attivare simile sistema sopra curve di un sì corto raggio. Ve ne sarebbe un altro ben più serio, ed è che non sarebbe possibile l'imprimere una grande velocità al convoglio. Effettivamente la forza centrifuga misurata dal seno interno dell'arco percorso nell'unità di tempo che si prende per termine di comparazione, produrrebbe contro le guide un attrito che crescerebbe in ragione inversa del raggio della curva, e del quadrato di tale celerità. E perchè l'inclinazione che si potrebbe dare alle guide per ovviare a questo inconveniente non lo eviterebbe, come dimostreremo in seguito, che in un solo caso. quando fosse passato questo limite, il convoglio potrebbe esercitare contro la guida esteriore uno sforzo sì considerevole che finerebbe per allontanarla dalla guida interna: i carri verrebbero allora gettati fuori della via, locchè accadrebbe pure nel senso inverso, quando la velocità fosse troppo debole.

È quindi del tutto impossibile di applicare un tal sistema alle grandi linee di comunicazione. Però alcuni ingegneri hanno creduto che possa almeno utilmente praticarsi nelle diramazioni, allorquando le disposizioni locali non permettessero di adottare curve abbastanza

sviluppate. Essi giudicarono che in questo caso basterebbe di far salire sulla guida l'orlo della ruota esterna. Ma le dimensioni ordinarie di quest'orlo non essendo calcolate in modo da sostenere il peso del carro, desso andrebbe soggetto a spezzarsi, e potrebbe causare la perdita della ruota. Bisognerebbe quindi per renderlo atto a quest'uso del tutto eccezionale, dargli maggior larghezza ed in conseguenza modificare la forma di tutte le ruote ed aumentarne il peso. Questi cambiamenti produrrebbero in allora spese tali da non poter essere compensate da sì mediocre vantaggio. Mi sembra quindi che tal nuovo processo non potrebbe essere adottato utilmente che in circostanze affatto particolari, ma non credo mai che si possa applicarlo a strade di ferro destinate a considerevoli trasporti.

Si è tentato con diversi altri mezzi di evitare la necessità delle curve di un grande raggio, ma non ve n'è alcuno la cui pratica non abbia presentato inconvenienti almeno altrettanto gravi, e non se ne è mai fatta una seria applicazione. Si dovette quindi finora accontentarsi di impiegar curve sviluppate sopra un raggio abbastanza grande, perchè gli effetti dell'attrito e della gravitazione non aumentino in modo sensibile la resistenza di trazione che si incontra sulle linee rette. E quanto più la strada dovrà trasportare di viaggiatori e di mercanzie, e quanto maggior celerità vorrà darsi al viaggio, tanto maggiori sacrificii dovranno farsi per estendere il raggio.

All'epoca in cui furono stabilite le strade di ferro di Darlington e di Saint-Étienne, si credeva generalmente che le curve di un raggio di 500 metri dovessero essere sufficienti per tutti i casi; e non si aveva alcuno scrupolo di restringerla molto più quando s'incontravano passaggi difficili e poco frequentati. Di tal fatta, sulla strada di Manchester v'è una curva che non ha che 150 metri di raggio, ed è posta presso il luogo del carico dalla parte di Manchester. Sulla strada di ferro da Andrezieu a Roanne ve ne sono parecchie il cui raggio è di 200 metri. Allorchè il governo ci accordò la concessione della strada di Saint-Étienne non ci impose

alcun limite a questo proposito. Si credeva generalmente allora che sottomettendomi a non dare mai meno di 500 metri ai raggi delle curve io strascinerei la compagnia in tali spese, delle quali non si sarebbe mai compensata coi vantaggi ch'io mi riprometteva da tal misura. L'evento ha provato che io non m'era ingannato, dando a questo oggetto tanta importanza, ed oggigiorno i governi nell'aggiudicare le strade di ferro, assoggettano i concessionarii a non impiegare se non curve di un grande raggio, ed a non sorpassare il minimo della pendenza comportata dal terreno.

| | |
|---|---|
| Sulla strada di ferro da Parigi a San Germano il minimo dei raggi di curva è di . | 800 met. |
| Sulla strada da Manchester a Liverpool questo raggio è, per termine medio, di . . | 1,327 |
| Su quella da Liverpool a Birmingham. | 3,600 |
| Su quella da Londra a Briggton . . . . | 3,200 |
| Su quella da Parigi all'Hâvre . . . . . . | 1,000 |

È d'uopo anche aggiugnere che le località attraversate da quelle diverse strade si prestavano a quegl'immensi raggi senza che ne conseguisse un grande aumento di spese. Ma gl'ingegneri ed i pratici di Francia e d'Inghilterra si accordano nel riconoscere che un minimo di 1,000 metri basta per tutti i servigi che noi vogliamo al dì d'oggi avere dalle strade di ferro, e che si può stare a questo limite quando per sorpassarlo si avessero a fare spese considerevoli.

S'impiegano le curve per unire fra loro le linee rette di cui si compone il complesso del disegno; ma allorquando gli angoli formati da queste linee non sono abbastanza aperti accade che per mantenere la lunghezza del raggio si è obbligati a dare alle curve un tale sviluppo, che la loro estremità viene a coincidere coll'origine della curva seguente, che è tangente alla medesima retta. Questa viene allora a disparire del tutto e la strada di ferro si compone d'una serie di curve ineguali nelle loro lunghezze e nei loro raggi, ed accostate le une alle altre. Allorchè questo caso si presenta,

locchè avviene frequentemente nelle località difficili, si deve cercare di eguagliare per quanto sia possibile la curvatura del complesso della rete, poichè s'ingannerebbe chi credesse che facendo seguire ad una curva ristretta un'altra più sviluppata vi fosse compensazione. I pericoli che presenterà la prima, i sinistri che ne potranno nascere, le rotture delle ruote, delle spranghe dei cuscinetti, l'allontanamento delle guide, o la deviazione del convoglio portato via dalla forza centrifuga, tutti questi avvenimenti che si devono tanto più temere, quanto più il corso è rapido, non saranno compensati dal vantaggio che all'uscire da quel passo s'incontri una curva più sviluppata.

Allorquando l'angolo formato da due linee rette è conosciuto, e che si è determinato sopra ciascuna di esse il punto di partenza della curva che deve unirle, non resta a far altro che disegnare quella curva che soddisfaccia meglio a tale condizione. Ora è fuor di dubbio che l'arco di circolo può solo raggiungere questo scopo.

Effettivamente: supponiamo, una serie li linee rette *A, B, C, D, E, F*, (tav. I, fig. 2) che determini la direzione di una strada di ferro; supponiamo ancora che la rete di queste linee sia stata calcolata in tal maniera che quelle che formano l'angolo più picciolo *BA, BC* siano dirette in modo che si possa far passare per i punti *T* ed *U* un arco di circolo che sia tangente ad essi; e il cui raggio non sia al dissotto del limite fissato dall'ordinanza di concessione: è evidente che si può far passare dai punti *T, U* ogni specie di curva che abbia la proprietà d'essere tangente alle linee *BA, BC* verso i punti *U* e *T*.

Supponiamo dapprima che si alzino ai punti *T, U* le perpendicolari *UC, TC:* la loro riunione in *C* determina il centro dell'arco di circolo *UT* che soddisfa alla condizione richiesta.

Se, invece d'impiegare l'arco di circolo, vi si volesse sostituire la parabola per passare da una curva di lungo raggio ad un'altra di raggio più corto, esisterebbero necessariamente alcune parti di quest'ultima linea in

cui la curvatura sarebbe minore di quella dell'arco di circolo al quale la si avrebbe sostituita. Ne risulterebbe quindi verso questi punti un aumento di résistenza.

Per schiarire ciò, supponiamo che si tratti di passare da una curva *DM* avente 3,000 metri di raggio ad un'altra *MAN*, e che la lunghezza dell' ordinata *PM* di quest'ultima curva, come anche quella delle tangenti *TM*, *TN* e l' angolo che formano tra loro, non permettano di descrivere una curva avente più di 1,000 metri di raggio, e sia:

$$MB = a = 1000$$
$$PM = y = 750$$
$$AP = x$$
$$AD = \gamma.$$

Il triangolo *MPB* ne darà il mezzo di determinare *PB*; sia:

$$PB = \sqrt{MB^2 - MP^2} = \sqrt{1000^2 - 750^2} = 661.$$

Avremo in seguito *PT* considerando i triangoli simili *PMB*, *MPT*, locchè ci dà

$$PT = \frac{PM^2}{PB} = \frac{(750)^2}{661} = 851$$

e siccome l'ordinata nella parabola è eguale alla metà della sotto tangente, avremo:

$$AP \text{ ovvero } x = \frac{851}{2} = 425,50.$$

Determineremo il parametro mettendo nell'equazione della parabola $y^2 = Px$ i valori di $x$ e di $y$, il che darà

$$P = \frac{(750)^2}{425,50} = 1323$$

e pel raggio della curvatura al punto *A*

$$\frac{1323}{2} = 661,$$

quantità più piccola di *MB*, come lo indica il meccanismo del calcolo, poichè d'altra parte il valore del-

l'ordinata $P'M'$, che determina il punto della curva in cui il raggio della curvatura $M'B'$ è eguale al raggio $BM$ è espresso da

$$\gamma = \frac{(P^2 + 4Px)^{\frac{3}{2}}}{2P^2},$$

che quando $Y = 1000$ e $P = 1323$ ci dà $x = 130$ valore inferiore a quello di $PM$, ciò che ci fa scorgere in maniera generale che il raggio della curvatura segue le variazioni di grandezza dell'ordinata.

Si risentirebbero quindi tutti gli inconvenienti proprii dell'impiego delle curve del raggio che verrebbe determinato al punto $A$ dall'adozione della parabola, e non si troverebbe in ricambio che il debole vantaggio, se pure ne è uno, di passare per differenze insensibili dalla curva $DM$ alla curva $MA$. Ne consegue quindi che l'arco di circolo è la sola curva che convenga d'impiegare nel tracciamento delle strade di ferro ed aggiungerò che è anche la sola che si possa adottare in pratica. In fatto, oltre le difficoltà che presenta il disegno di ogni altra curva, sarebbe impossibile che gli operaj incaricati di riparare e rialzare le guide potessero mantenerne tutti i punti nel posto che fosse loro assegnato dal valore delle ordinate dell'equazione, secondo la quale fossero state poste dapprima. Ma quando la curva è formata da un arco di circolo, basta che il soprastante abbia un po' d'abitudine per iscoprirne le più picciole inflessioni e per rettificarle senza il soccorso di alcun istromento, od alcuna operazione grafica.

Gli ingegneri inglesi i quali danno minor importanza alla teoria di quello che si faccia in Francia, hanno per la maggior parte delle operazioni relative all'arte loro che richiedono qualche applicazione della scienza, alcuni metodi grafici o empirici dai quali rare volte si allontanano. Il metodo che impiegano per stabilire le curve sul terreno consiste semplicemente nel tracciare una serie di linee rette $AB$, $CD$, $EF$ tutte eguali aventi ciascuna 22 piedi inglesi di lunghezza. Ciascuna d'esse ha la sua origine in $A$, $C$, $E$ sulla metà di quella che

la precede, e s'allontana alla sua estremità *B, D* di quella che la segue, d'una quantità *BE, DG* che determina una serie di punti *C, E, G* per cui deve passare la linea curva (tav. II, fig. 4).

Questo metodo è talmente usato in Inghilterra, che i costruttori delle strade di ferro e gli ingegneri si contentano di disegnare le curve indicando questa deviazione, che è di 2 a 4 pollici nelle circostanze ordinarie.

Questo metodo è, come si vede, d'una grande semplicità, ma non di una grande esattezza. Il minimo errore obbliga a ricominciare l'operazione, e non si può arrivare ad un risultamento esatto se non che per via di tentativi più o meno lunghi.

Il mezzo più sicuro e più metodico consiste nel costruire la curva sulla tangente, sulla corda o sul suo prolungamento, impiegando le formule trigonometriche per indicare le ordinate relative alla scelta che si fa di uno di questi mezzi. Allorchè il terreno è ineguale, coperto di boschi, tagliato da fiumi ed occupato da costruzioni, queste operazioni possono divenire molto difficili.

Quando gli allineamenti sono determinati, e quando il vertice degli angoli od un certo numero di punti sulla direzione delle rette sono ben stabiliti e ben segnati con pali, si sceglie la posizione della linea trigonometrica più facile a stabilirsi. Vi si riportano le ordinate della curva, e si procede in seguito al lavoro sul terreno impiegando ad un tempo, se è possibile, due processi differenti per meglio assicurarsi dell'esattezza dell'operazione.

In quanto alle curve che sono d'un uso più frequente, giova avere le tavole anticipatamente calcolate, che indicano il valore delle ordinate relativamente alla tangente. Simili tavole sono principalmente essenziali per le curve descritte sovra il più picciolo raggio indicato dall'ordinanza di concessione. Le ordinate che si riferiscono alla corda si deducono in seguito facilmente da quelle della tangente, diminuendo i valori che esprimono queste ultime d'una quantità costante indicante la distanza dalla corda alla tangente.

Suol servire a questo effetto l'equazione del circolo

$$y^2 = ax - x^2,$$

nella quale $a$ dinota il diametro, $x$ l'ordinata a partire dall'origine della curva, ed $y$ l'ascissa.

Per calcolare i valori *XY* che corrispondono ai punti *X'*, *X* (tav. II, fig. 5) presi a distanze eguali sulla tangente *AX*, oppure per calcolare i valori *YZ* che si riportano alla corda *CZ*, si metteranno successivamente nell'equazione sepraesposta in luogo di $a$ e di $x$ i valori relativi al caso particolare che si considera locchè servirà a determinare $y$.

Conoscendo $y$ si dedurrà il suo valore dal raggio, ciò che darà *XY*, ossia l'ordinata della curva rapportata alla tangente.

Si dedurrà da questo valore quello dell'ordinata rapportata alla corda *CZ* sottraendo *XY* da *AC*, locchè esprime la distanza dalla corda *CZ* alla tangente *AX*.

Essendo conosciuti i valori di *YD* e di *XY*, se ne deduce con facilità quello di tutte le linee che si abbiano ad impiegare in forza delle circostanze.

Supponiamo per esempio che la difficoltà del terreno impedisca di prolungare la tangente *AX* fino in *T*, ma che si possano facilmente trasportare sul terreno le linee *AD*, *XY* e *YU* si sottrarrebbe $EV + TU$ da *TE*, ciò che darebbe il valore di *UV*.

Si può infine aver bisogno per qualche verificazione di conoscere la lunghezza di *TY*, oppure di *YZ*, locchè si otterrà facilmente quando si conosceranno *YD* ed *AD*, oppure *AC*.

### VII. Delle pendenze.

Non è sempre possibile di conservare su tutta l'estensione od anche sopra parti estese di una strada di ferro la regolarità della pendenza. Qualche volta le difficoltà fisiche che vi si oppongono e qualche volta uno spirito di ben intesa economia impongono all'ingegnere l'obbligo di adottare un profilo meno perfetto ma che ottiene meglio lo scopo che si deve raggiugnere. Si deve però

guardarsi con grande circospezione dall' abbracciare inconsideratamente disposizioni che strascinerebbero ad un troppo grande aumento di spese pel servizio dei trasporti. Le spese che si evitassero peggiorando il sistema delle pendenze potrebbero più tardi causare la rovina dell'intrapresa. Ciò potrebbe bastare per mettere la strada nell'impossibilità di approfittare dei miglioramenti che saranno probabilmente in avvenire recati alla costruzione dei motori, ed anche se accadesse che col soccorso dei mezzi non più applicabili a quella strada si giugnesse ad eseguire i trasporti ad un prezzo molto più basso, potrebbe divenir indispensabile l'abbandonare la linea costruita e stabilirne una nuova. Effettivamente il profilo di una strada di ferro dipende dalla sua direzione, e questa direzione stessa è imposta dalla condizione della minor opera di sgombro e di rialzamento. Se si fa variare l'uno bisogna di conseguenza modificare anche l'altro, ossia in altri termini, un cambiamento nel sistema delle pendenze non può effettuarsi se non cambiando il disegno. Ma dacchè l'apertura di una comunicazione così importante fa sempre rialzare considerevolmente il valore dei terreni contigui, e dacchè non si tarda ad edificare sul passaggio costruzioni, officine e fabbriche servite da tronchi parziali, è facile il vedere quali enormi indennizzazioni si dovrebbero pagare se si volesse modificare la linea, non scostandosi dalla sua prima direzione. In tal caso non si potrebbe dunque far nulla di meglio che crearne una nuova del tutto indipendente dalla prima.

Perciò come feci osservare, è indispensabile che una livellazione perfettamente esatta, sulla precisione della quale non possa restare alcun dubbio, preceda qualunque altra operazione grafica ed il cominciamento dei lavori, soprattutto nelle linee sparse di grandi e numerosa difficoltà. I punti di quella triangolazione servono di *pali fissi* per le operazioni secondarie e non si è più esposti allora se non ad errori di picciola importanza che facilmente si possono riconoscere e correggere.

L'esattezza che si deve mettere nella distribuzione della pendenza, ed il declivio tenue a cui sono ordinariamente

assoggettate le strade di ferro fanno sì che le differenze siano insensibili al livello d'acqua: perciò bisogna che ciascun impiegato capo di una divisione possegga un livello a bolla d'aria costrutto con tutta la perfezione possibile.

Accade spesso che i punti di livellazione intermediaria riuniti alla rete generale manchino di stabilità. Vi sono terreni soggetti a condizioni di equilibrio che risentono nelle loro posizioni rispettive, cambiamenti di cui è impossibile farsi un'idea. Tali sono per esempio: le avvallature o il gonfiamento delle parti che circondano i terrapieni, che si fanno risentire qualche volta sino a grande distanza, i movimenti di salita e d'abbassamento dei grandi tagli, o altre variazioni generali o particolari. Egli è per questo che non si deve mai stancarsi di ripetere le verificazioni qualunque sia la sicurezza ispirata dalla stabilità dei punti che si crede aver fissato in maniera invariabile.

I punti indicati in ciascun cantiere col livello a bolla d'aria sono ripartiti col livello ad acqua dagli intraprenditori e dagli stradini in tutti i luoghi ove ciò è necessario. Questi operaj impiegano anche a tal effetto i piccioli livelli o righe leggiere di legno alle quali si dà un colpo di sega all'altezza dell'occhio per mettervi un foglio di carta piegato in due di cui si suol servirsi come di un traguardo. Questo picciolo stromento semplice e poco costoso si apposta facilmente fissandolo con alcune pietre sulle guide, e presenta, per eguagliare le pendenze da un punto all'altro, molto maggiore comodità e precisione che il livello d'acqua.

Allorquando la linea della strada di ferro deve essere diretta paralellamente al corso di un fiume, la pendenza per l'ordinario poco sensibile delle acque è di un gran soccorso per ripartire quella della strada; soprattutto se si può mantenere la linea nella valle in cui scorre il fiume. Non bisogna però obliare di tener conto di certi inconvenienti particolari di tale posizione. I fiumi vanno di sovente soggetti a grandi variazioni nel volume delle loro acque. La maggior parte di essi coprono ed abbandonano successivamente e più volte all'anno certe

parti della valle in cui il loro letto è scavato, ed in ciascuna di queste piene depongono sulle sponde materie terree da essi trasportate. Per i primi anni tali depositi si rialzano con qualche prontezza, ma la frequenza delle loro sommersioni stando in ragione inversa della loro altezza ne consegue che quando hanno raggiunto il livello dell'altezza media delle piene ordinarie, la progressione del loro innalzamento diviene estremamente lenta. Sulle sponde del Rodano nei luoghi in cui si può espandere una gran massa d'acque ed in cui la corrente non è abbastanza rapida per impedire alla melma di depositarsi, si calcola che nei primi anni il suolo s'innalza di $0^{m}\,2{,}0^{c}$ all'anno. Dopo trent'anni le isole e le ripe del fiume si sono alzate per termine medio di 2 metri e la loro altezza al disopra del pelo dell'acqua è di circa 3 metri. Allora non vengono più sommerse che due o tre volte all'anno, e di quell'epoca bisogna approfittare per stabilire il terrapieno di una strada di ferro.

Si fatti terreni non sono in generale di gran valore poichè non vi si può fabbricare, nè metterli a regolare coltura: ed è tanto più facile il comperarli a basso prezzo, da che il terrapieno che si costruisse sulla sponda del fiume preserverebbe dalle inondazioni tutte le parti della valle situate al di là di quello, per cui si può trarne un partito molto più vantaggioso.

Le piene straordinarie che nel Rodano s'innalzano per fino a cinque metri al disopra dell'altezza media dell'acqua sono rarissime e non accadono che da 50 a 60 anni d'intervallo. Per la porzione di strada di Saint-Étienne che costeggia il Rodano ho creduto che bastasse di dare al terrapieno un metro al dissopra del punto più alto che a memoria d'uomo sia stato raggiunto dalle acque. Regolandomi quindi sulle traccie riconosciute in diversi luoghi, ho stabilita la via a 6 metri al dissopra del pelo ordinario dell'acqua.

Ma volendosi sottomettere a seguire le rive di un fiume ed a stare ad un'altezza costantemente uguale al dissopra delle sue acque bisogna rinunciare al vantaggio di avere una pendenza regolare: perchè la pendenza non

è mai ripartita egualmente nel corso intiero del fiume, e quand'anco lo fosse, poichè la linea non può seguire tutte le sue sinuosità, e si allontana e si avvicina a norma di quanto richiede il disegno, la lunghezza che acquista non è più eguale a quella del fiume e la relazione della pendenza non può essere la stessa.

Esistono nelle diverse parti del medesimo fiume grandi differenze nella proporzione della loro altezza media colla loro altezza nelle piene. Il grado di rapidità delle acque, la forma del loro letto, la natura dei terreni su cui si spandono, gli ostacoli che possono incontrare nella lunghezza della valle, ecc., sono altrettante cause che possono ritardarne o favorirne lo scolo.

Per ciò quando si deve fissare l'altezza dei punti di partenza ed arrivo, non è sull'altezza ordinaria che si deve regolarsi per determinare le altezze dei punti intermediarii. Si devono cercare a distanze più certe che sia possibile, i segnali delle maggiori piene; e si devono legare questi punti fra loro con pendenze regolari, per mezzo di operazioni parziali.

Tali precauzioni non guarentiscono ancora i terrapieni d'ogni invasione dell'acque: l'altezza delle piene può posteriormente subire variazioni locali per effetto di circostanze la cui influenza diventerà permanente. Ciò accadrebbe se si stabilisse un nuovo sterrato, sia accanto alla strada di ferro sia sulla sponda opposta; se si costruissero argini a palafitte, se si facessero piantagioni considerevoli sopra terreni in cui le acque trovavano prima un libero sbocco. Sono questi altrettanti casi dei quali si deve calcolare la probabilità, e non si deve indietreggiare al cospetto dei sagrificj consigliati dalla prudenza onde prevenire gl'inconvenienti che si possono temere.

La pendenza dei grandi fiumi, come quella di tutte le correnti d'acqua in generale, è tanto meno rapida quanto più è vicina la foce. La pendenza del Rodano fra Lione ed il mare è di 0,0004835; fra Lione e Givors è di 0,0005. Tali variazioni di pendenza sono poco considerevoli verso lo sbocco perchè l'enorme volume d'acqua scaricato dal fiume tende, quanto più s'av-

vicina al mare, ad eguagliar il livello; ma son ben più sensibili verso i confluenti e presso la sorgente; come può vedersi nel corso del Giers che si getta nel Rodano a Givors e quello del Janon che gli si unisce a Saint-Chamond, i quali presentano la sezione *A, B, C, D, E,* (tav. II, fig. 6).

La città di Givors lontana 36,000 metri da Saint-Étienne per effetto dell'attuale strada di ferro, è $353^{m},90^{c}$ più bassa di quest'ultima città. Egli è evidente che il disegno che avesse mantenuto la regolarità della pendenza fra questi due punti sarebbe stato il più conveniente; ma l'ordinanza reale c'imponeva l'obbligo assoluto di far passare la linea per Rive-de-Giers; d'altronde questa città era troppo importante per le sue miniere di carbon fossile e per gli sbocchi che dava alla via perchè si potesse pensare a farla servire da un ramo parziale. Non ebbi quindi a studiare quel progetto cui mi era interdetto di abbracciare, che d'altronde sarebbe stato, senza dubbio, di esecuzione più difficile e più dispendiosa di quello che si è seguito; è però vero che in ragione della lunghezza alquanto maggiore della linea, la pendenza media non avrebbe oltrepassato $0^{m},009$ per metro. Nello stato attuale delle cose la corda *AB* (tav. II, fig. 6) da Givors a Rive-de-Giers è di 15,000 metri e la freccia *xy*, ossia la più grande distanza verticale dal letto del Giers alla linea della strada, è di 14 metri: fra Rive-de-Giers e Terre-Noire la corda *BC* ha 17,000 metri, e la freccia *vz* 27 metri. Se si fosse adottato una sola pendenza la linea *AC* sarebbe stata 32,000 metri, e la freccia *tu* di 80 metri.

Le linee *yx, tu, vz,* danno la misura delle più grandi altezze cui possano giugnere i terrapieni per lo stabilimento delle strade. Bene spesso si è costretti ad arrivare a questo limite, quando l'andamento segue un torrente che fa rapide giravolte e che trovasi incassato in valli le cui sponde hanno un gran declivio. Ognuno comprende con quanta prudenza e con quanta maturità si debbono esaminare i vantaggi e gl'inconvenienti che vi possano essere nell'adottare un disegno che si accosti più o meno alle correnti d'acqua. Non si deve mai avventurarsi a

pronunciare su tal quistione finchè non siasi acquistata una esatta cognizione del regime dei fiumi e della natura delle valli in cui scorrono. Accade di sovente che dietro maturo esame si dia la preferenza ad un andamento che da prima non sarebbe sembrato il più semplice ed il più naturale, e che non pertanto è il solo che possa soddisfare allo scopo propostosi. Avviene per esempio che per passare dal versante di un mare o di un gran fiume in un altro, il punto di cui si debba far scelta non sia di gran lunga il meno elevato: di tal modo per la strada di ferro da Saint-Étienne a Lione io ho dovuto scegliere la valle del Janon e superare il colle di Terre-Noire piuttosto che quello di Langonen quantunque quest'ultimo sia di 28 metri più basso. Ho disegnati in *EFH* il profilo di quest'ultimo colle affinchè si possa paragonarlo coll'andamento che ho adottato. L'ispezione sola di questo profilo dimostra che si sarebbe dovuto concentrare la maggior parte della pendenza fra il punto *H* e il punto *E*, a meno che non si fosse voluto praticare un ben lungo foro o che non si fosse lasciato da lontano Saint-Chamont, locchè avrebbe necessitato lavori considerevoli.

I fisici e gli idografi hanno fatto lunghi studii intorno alla direzione ed alla pendenza delle correnti d'acqua, ed il signor Brisson direttore delle scuole dei ponti e strade ha mostrato nelle particolari sue trattazioni quanto addentro egli sia penetrato nella materia (1). Si è pur anco cercato di determinare analiticamente l'equazione della curva rappresentante per medio termine la sezione del corso dei fiumi in generale; ma è cosa evidente che il problema è complicato da troppi accidenti particolari perchè giammai la sua soluzione possa riuscire di qualche utilità.

In conclusione, essendo caso raro che sopra una lunga linea si possa conservare la medesima proporzione di pendenza, si deve per quanto è possibile scegliere direzioni tali che permettano di disegnare pendenze eguali fra i diversi punti obbligati. L'altezza verticale di questi

(1) *Saggio sopra il sistema di navigazione interna della Francia.* Parigi 1829, prefazione, pag. III.

punti e la loro reciproca distanza determinano il limite dell'inclinazione della pendenza dello spazio intermedio. Fra i due estremi di questo limite si ponno stabilire tre divisioni, le quali sono per trattare l'una dopo l'altra.

I.° Dei piani inclinati. Il servigio dei piani inclinati è sempre soggetto a numerosi inconvenienti, e non si deve ricorrere a tal mezzo se non quando non si può far di meno. La minima negligenza nelle minute precauzioni necessarie può causare gravi sinistri. Sopra tutto in Francia, possiamo troppo poco contare sull'esattezza e sullo zelo dei nostri operai per affidar loro senza trepidazione la cura di vigilare sulle macchine che a tal uopo si impiegano, ed è più che necessario di non commettere tale servigio che ad uomini esperimentati.

Quando non ci vien fatto di schivare un piano inclinato, bisogna renderlo più corto che sia possibile. Si prolunga per quanto si può la china praticabile dalle locomotive o dai cavalli, e si dà al piano un'inclinazione tale che la gravità possa vincere facilmente la resistenza delle corde e delle carrucole che nello scendere uniscono i convogli alle macchine fisse, e servono in seguito a farli risalire.

Giova ancora di non far descrivere al piano inclinato una curva quando non sia forza il farlo, perchè l'occhio ne abbracci ad un tratto l'estensione; perchè da una stazione all'altra si scorga il minimo ostacolo, che potesse contrariare il movimento, e perchè possano i segnali essere dati e ricevuti con facilità. D'altronde quando la via segue una curva è inevitabile il dare un'inclinazione alle carrucole, che sostengono le gomene: l'attrito si aumenta, e le gomene restano meno sicuramente ritenute nelle carrucole: di maniera che per la minima causa possono gettarsi nell'interno della curva, rompere, stritolare od uccidere tutto ciò che si trova sul loro passaggio, e causare nell'andamento del convoglio una accelerazione di velocità da cui risulterebbero senza dubbio incalcolabili sinistri.

L'inclinazione che si deve dare alle carrucole è relativa al peso ed alla tensione delle corde che sostengono. Il peso della corda tende ad esercitare un attrito

verticale sulla carrucola. Se la tensione fosse nulla non sarebbe necessario dare inclinazione alla carrucola, qualunque fosse d'altronde la curvatura della linea; mà al contrario si scorge che se la tensione fosse infinita avuto riguardo al peso della corda, il contrario avrebbe luogo e le carrucole dovrebbero essere situate nel piano della curva.

Dunque il grado d'inclinazione delle carrucole avrà a dedursi da circostanze particolari a ciascun caso.

Supponiamo che si tratti di fare il servizio d'un piano inclinato di 1,000 metri di lunghezza avente una pendenza di 1/50 oppure di 0m,02 per metro e sul quále si debbono far salire otto vetture cariche del complessivo peso di 30 tonnellate.

Si sa al giorno d'oggi che, per durare un anno facendo questo servizio le gomene dovrebbero avere 4 centimetri di diametro, e peserebbero allora circa 1ch., 50 per metro di lunghezza (1).

Dietro esperienze reiterate la resistenza media prodotta dall'attrito delle gomene quando sono sostenute da carrucole di ferro fuso di 0m,30 di diametro e giranti sopra assi di 0m,05 si è trovato essere eguale al dodicesimo circa del loro peso.

La tensione della corda allorchè il convoglio avrà acquistato un andamento costante si comporrà dunque:

1.° Della resistenza prodotta dall'attrito del convoglio, locchè supponendola di 0,005 darà 30,000ch. $\times$ 0,005 ossia . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 150

2.° Della resistenza derivata dalla gravità composta seguendo la pendenza 30,000 $\times$ 0,02 . . . . . . . . 600

3.° Dell'attrito della corda 1,000ch. $\times$ 1,50 $\times$ 1/12 125

4.° Della resistenza della corda dovuta alla gravità 1,500 $\times$ 0,02 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 30

905

Questa tensione sarà dunque di 905ch.

Sia *a*, *b*, *c*, *d* (tav. II, fig. 7) una serie di carrucole situate sopra una curva di 500 metri di raggio, e di-

(1) *Manuale dei costruttori di strade di ferro*, di E. Biot. Parigi 1834, in 18.°, pag. 110.

scoste le une dalle altre di 5 metri: si troverà la lunghezza *bx* della freccia che forma la corda passante su tre di quelle situate consecutivamente, facendo questa proporzione:

$$bx : ab :: ab : 1000 \text{ diametro della curva;}$$

$$\text{sia} \quad bx = \frac{5 \times 5}{1000} = 0{,}025, \quad by = 0{,}05\,;$$

e formando il parallelogramma delle forze *ay*, *ey*, la tensione decomposta seguendo *bx* diventerà, con poca differenza, proporzionale a *by*: sia;

$$by = 905^{\text{chil.}} \times \frac{0{,}05}{5} = 9^{\text{chil.}},05.$$

Ma il peso della corda essendo di $1^{\text{ch.}}$,50 per metro, e ciascuna delle carrucole *a*, *b*, *c*, *d* sostenendo 5 metri di corda, questa carrucola sarà sollecitata nel senso varticale *BG* (tav. II, fig. 8) da un peso di $7^{\text{ch.}}$,50, e nel senso orizzontale *BY* da un peso di $9^{\text{ch.}}$,05. Bisognerà dunque darle una posizione intermedia *BP* che soddisfaccia alla condizione di trovarsi nel piano della risultante delle forze *BG*, *BY*, dando 9,05 di lunghezza a *BY*, 7,50 a *BG*, e tirando la diagonale *BP* che indicherà la direzione cercata.

Dietro ciò si vede che l'inclinazione da darsi alle carrucole varia secondo la tensione delle gomene, tensione che è molto irregolare principalmente alla partenza delle vetture, poichè per vincere l'inerzia della massa è d'uopo che si sviluppi tutta la forza della macchina.

Nel movimento del convoglio la corda può escire dalle gole delle carrucole, e produrre così un gravissimo inconveniente, poichè s'intende che a misura che le vetture discendono, le carrucole *a*, *b*, *c*, *d* (tav. II, fig. 7) essendo situate in linea retta e discendendo le vetture da *a* in *b*, la corda che le ritiene cade precisamente in mezzo delle carrucole. Ma se la direzione dei punti *a*, *b*, *c*, ecc., forma una curva, mentre la corda tende sempre a metterli in linea retta, se il convoglio partito dal punto *a* è arrivato in *c* prima che la corda non

sia stata posta nella carrucola *b*, essa se ne troverà discosta di tutta la quantità *bx*; e se qualche risalto o qualche altra circostanza le fa mancare la carrucola *e*, quando il convoglio sarà in *d*, essa si sarà allontanata da *b* di uno spazio quasi doppio. Vi sarà allora a temere ch'essa abbandoni tutte le altre carrucole e si lanci nell'interno della curva.

Abbiamo veduto che la resistenza del convoglio sarebbe nel caso che abbiamo preso per esempio, 905ch.. Se questa resistenza dovesse esser vinta con 3 metri per ogni minuto secondo, ossia da una celerità tre volte più grande di quella che si dà ordinariamente agli stantuffi delle macchine a vapore a posto fisso, la resistenza sullo stantuffo sarebbe di $905 \times 3 = 2{,}715$. E calcolandosi ordinariamente che la forza di un cavallo nelle macchine a vapore basta per vincere una resistenza di 75ch. coll'unità di celerità ossia 1 metro per minuto secondo, la forza della macchina determinata in cavalli sarà dunque di $\frac{2715}{75} = 36, 20$ cioè, 40 cavalli circa.

Occorrerebbono allora alla macchina 500 secondi di tempo, o quasi 10 minuti, per far risalire un convoglio. Supponendo ancora la metà di questo tempo, ossiano 5 minuti per la discesa e 5 minuti per attaccare e distaccare le vetture, la macchina potrebbe bastare a trasportare 8 vetture ossiano 24 tonnellate in 20 minuti, ossia 24 vetture o 72 tonnellate per ora, e 288 vetture, o 864 tonnellate durante la giornata media di 12 ore di lavoro, ciocchè corrisponderebbe ad un movimento di 300,000 tonnellate all'anno.

A misura che il convoglio salendo s'avvicina alla macchina, la resistenza diminuisce in proporzione della quantità della corda che si avvolge sul tamburo. Quindi questa resistenza, che al piede del piano inclinato era di 2,715ch., non dà più, alla sua estremità superiore, che

$$30{,}000^{\text{chil.}} \times 0{,}025 \times 3 = 2{,}250$$

per la pressione riportata sullo stantuffo della macchina.

Se il piano inclinato fosse più o meno esteso, la dimensione delle corde dovrebbe essere relativa all'au-

mento o diminuzione della sua lunghezza, in modo che la sua forza riescisse proporzionata allo sforzo voluto per vincere la sua propria resistenza, e quella del convoglio.

Supponiamo che il piano inclinato abbia 3,000 metri. Indicando con $x$ il peso che deve avere la nuova corda per 1 metro di lunghezza, e con $R$ la resistenza del convoglio al piede del piano inclinato noi avremo

$$30,000^{\text{chil.}} \times 0,025 + 3000 \times x \times \frac{1}{12} + 3000 \times x \times 0,02 = R;$$

e dall'altra parte, il peso della corda dovendo stare in proporzione della sua resistenza, si ha

$$R : x :: 905^{\text{chil.}} : 1,50, \quad R = \frac{905x}{1,5};$$

sostituendo in luogo di $R$ il suo valore in $x$ e riducendo avremo

$$x = \frac{1125}{440} = 2^{\text{chil.}} 54, \quad R = 1537,40.$$

È questa la resistenza che s'incontra al piede del piano inclinato. Nella parte superiore, sarà diminuita di tutta quella della gomena, e sarà ridotta a

$$30,000 \times 0,025 = 750^{\text{chil.}},$$

vale a dire a meno della metà.

Così la resistenza va diminuendo, mentre la potenza della macchina resta sempre la stessa, e l'andamento del convoglio tende ad acquistare un aumento progressivo di celerità. Ne consegue che se gli operai non sono lestissimi a staccare le corde quando il convoglio ha raggiunto la sommità del piano inclinato, questo corre rischio di venirsi a rompere contro i tamburi sui quali sono ravvolte le gomene.

Dietro ciò mi sembra che le macchine ad alta pressione debbano essere più proprie al servigio dei piani inclinati che quelle di Watt, perchè sono più atte ad uno sviluppo di potenza variabile a seconda delle resistenze da vincersi.

D'altrettanto ne sembrerebbe più naturale e più vantaggiosa l'applicazione che la macchina non impiegando il vapore prodotto dalla caldaja, mentre si attacca e si distacca il convoglio, questo vapore s'accumulerebbe nella caldaja, ed acquisterebbe sufficiente elasticità per vincere facilmente e l'inerzia del convoglio ed il *maximum* di resistenza della parte più bassa del piano inclinato. Ma a misura che la resistenza totale si diminuisse colla soppressione graduata di quella delle corde, la tensione del vapore si infievolirebbe nella caldaja in guisa che le due quantità soggiacerebbero a variazioni analoghe, che tenderebbero ad utilizzare il vapore nel modo il più favorevole all'economia, e ad un tempo alla facilità e sicurezza del servigio.

La pendenza dei piani inclinati serviti da macchine stazionarie sulle strade di ferro attualmente esistenti, varia da 0,03 a 0,05. In quanto al prezzo dei trasporti dipende esso dalla proporzione della pendenza e delle masse sulle quali si opera. In fatto si comprende che le spese sono sempre quasi le medesime, sia che la macchina agisca tutto il giorno, sia che non la si metta in moto che ad intervalli, i quali però non possono mai essere abbastanza lunghi per permettere di estinguere il fuoco delle caldaje. L'economia si limita quindi ad una picciola parte del carbon fossile destinato ad alimentare il fuoco, ed essa non potrebbe esser considerevole.

Del resto questo modo di trasporto essendo unicamente usato nei casi in cui un solo interesse presiede all'organizzazione del servizio, viene regolato generalmente in modo da cavarne il maggior vantaggio possibile.

II. Delle pendenze sulle quali le vetture possono discendere per il solo effetto della gravità'. Le vetture discendono per il loro proprio peso tosto che la pendenza arriva ad un limite tale che la gravitazione possa vincere la resistenza dell'attrito. Sopra le guide della strada di Manchester questo limite è, come vedemmo, di 0,0036. Su tutte le parti della linea, in cui la pendenza è mantenuta in questo limite non v'è bisogno di far uso di motori. Ma dal momento in cui la pendenza

diviene più rapida, i convogli tendono a gravitare di tutto il loro peso, aumentando di celerità, secondo la legge indicata dall'inclinazione del piano sul quale discendono. Allora diventa necessario l'impiegare un mezzo qualunque per moderare il loro corso: altrimenti continuando ad accelerarsi il moto, non sarebbe ben presto più possibile di contenerlo, e ne risulterebbero deplorabili sinistri. A questo effetto si sono usati finora dei freni di materia poco dura, per esempio di legno, col sussidio dei quali si opera un attrito continuo contro le ruote delle vetture. La forza di gravità sviluppata dal moto, che è una vera caduta, si sciupa nel logorare i legami dei freni cui si ha cura di rinnovare a tempo debito: questa forza è per tal modo paralizzata ad ogni istante ed a misura che si spiega, e cessa d'influire sul corso delle vetture. Questi freni sono quasi sempre disposti in guisa di agire ad un tempo sulle due ruote del medesimo lato delle vetture cui si adattano, e il cui numero varia secondo il peso del convoglio e l'inclinazione della linea. La loro azione è regolata da un conduttore che per mezzo di un bozzello può farne agire due insieme. La pressione che esercitano sulle ruote non dovrebbe mai esser tale da impedirne il giro: ma quest'è appunto ciò che avviene quasi sempre quando per economia si vuol diminuire il numero dei conduttori. Questi uomini incaricati allora di una vigilanza troppo estesa, e posti continuamente nell'alternativa di lasciar prendere alle vetture una celerità che non potrebbero più dominare, o di lasciarsi raggiugnere dai convogli che li seguono, non possono mantenere la regolarità del corso. Quando hanno lasciato prendere al convoglio troppa rapidità vi rimediano stringendo i freni fino al punto di arrestare le ruote. Allora queste sdrucciolano sulle guide, si riscaldano, perdono la tempra, si rompono e scompajono dalla via, ecc. D'altronde non potendo essere senza pericolo interrotta per un solo istante l'azione dei freni, se accade qualche sconcio nel loro meccanismo, o qualche accidente al conduttore, la sicurezza di tutto il convoglio ne è gravemente compromessa.

Si è tentato di sostituire ai frani molti altri mezzi che io non credo utile il qui riferire, però sono d'avviso che nessuno di essi abbia raggiunto in modo soddisfacente l'effetto che se ne richiede. Ho fatto io stesso alcune ricerche a questo proposito, ma non ho potuto fare gli esperimenti necessarii per giudicare dell'efficacia dei mezzi contemplati. Credo che tutta la difficoltà sarebbe vinta se si pervenisse ad applicare al convoglio una forza ritardatrice la cui intensità si sviluppasse in tal guisa che la celerità non potesse mai oltrepassare un limite determinato. Tal sarebbe per esempio lo sviluppo d'una superficie, od il moto d'uno stantuffo entro un cilindro che presentassero all'aria una resistenza crescente come il quadrato delle celerità.

Il moto dei convogli sulle pendenze è soggetto, salve alcune modificazioni, alle leggi di gravità degli altri corpi. Si sa che i corpi cadendo percorrono spazii che stanno fra loro come i quadrati dei tempi decorsi dall'origine della caduta. Questa legge è una conseguenza di quella della gravità, la quale agendo sopra un corpo come se fosse in riposo, tende continuamente ad accrescere la sua celerità comunicandogli ad ogni istante una celerità eguale a quella che ha ricevuto nell'istante precedente; ne consegue che le celerità crescono come i tempi, e gli spazii percorsi come i quadrati delle celerità. Se noi dunque indichiamo la celerità con $v$, lo spazio percorso con $e$, e il tempo con $t$, avremo

$$t^2 = e; \quad v^2 = e; \quad t = v.$$

Ma questi rapporti essendo indipendenti da ogni misura di tempo e di spazio, per appropriarla alla nostra maniera ordinaria di calcolare, bisogna introdurvi quantità costanti che indichino i rapporti di queste quantità fra loro in metri ed in secondi.

Potremo ciò fare considerando che un corpo che cade liberamente alla superficie della terra percorre a un dipresso 5 metri nel primo secondo della sua caduta; e che la celerità crescendo in progressione aritmetica come il tempo scorso, sarà per conseguenza di zero al principio della caduta, e di 10 metri al fine del primo

minuto secondo; s'introdurranno dunque quantità costanti nelle tre equazioni sopra esposte, determinando i valori che conviene dar loro, perchè rappresentino un caso particolare. Questi valori potranno in seguito applicarsi a tutti gli altri casi.

Avremo dunque:

1.° Per le relazioni fra lo spazio ed il tempo supponendo $t$, il tempo della caduta eguale ad un secondo, ciò che corrisponde ad uno spazio percorso, o ad un valore di $e$ eguale a 5 metri, ed indicando provvisoriamente con $a$ la costante:

$$at^2 = e, \quad a = \frac{e}{t^2} = \frac{5}{1} = 5,$$

$$5t^2 = e \cdots\cdots\cdots (1);$$

2.° Per la relazione fra la velocità e lo spazio percorso, indicando con $b$ la costante, e mettendo al posto di $v$ il suo valore 10:

$$v^2 = be, \quad b = \frac{v^2}{e} = \frac{100}{5} = 20,$$

$$v^2 = 20e \cdots\cdots\cdots (2);$$

3.° E per quella fra il tempo e la celerità, indicando con $c$ la costante.

$$ct = v, \quad c = \frac{v}{t} = \frac{10}{1} = 10,$$

$$10t = v \cdots\cdots\cdots (3).$$

Ciò posto, se si suppone una vettura in $A$ (tav. III, fig. 9) sopra un piano inclinato $AB$ avente una pendenza di 0,0136; sia questa pendenza divisa in due parti, di cui l'una $CD$ di 0,0036 rappresenti l'attrito del convoglio sulle guide; vale a dire che la vettura situata in $D$ starebbe inerta, ma se ricevesse un impulso lo conserverebbe come se fosse situata sopra una via orizzontale in cui l'attrito fosse nullo. Egli è visibile che la forza di gravitazione tenderebbe a far cadere le vet-

ture da $A$ in $D$. Ma perchè ne viene impedita dal piano $AB$, questa forza non potrà agire sulla linea $AB$ che relativamente alla sua inclinazione misurata da $AD$.

Ora questa quantità $AD$ essendo la centesima di $AB$ la vettura percorrerà $AB$ come se fosse attratta nel senso $AB$ da una sfera d'attrazione eguale ad una centesima parte di quelle della terra, e il cui centro fosse alla medesima distanza che quello della terra.

In questa nuova supposizione la celerità e lo spazio percorso nella direzione $AB$, nel primo minuto secondo di tempo, non sarebbe più che la centesima parte di ciò che sarebbero stati nella direzione $AC$; e si determinerebbero i nuovi valori delle costanti $a, b, c$, sostituendo nelle equazioni (1), (2), (3), i nuovi valori $t, e, v$, ciò che darebbe.

$$a't^2 = e, \quad a' = \frac{e}{t^2} = \frac{0,05}{1} = 0,05, \quad 0,05\,t^2 = e$$

$$20e = t^2 \cdots\cdots\cdots (4).$$

$$b'e = v^2, \quad b' = \frac{v^2}{e} = \frac{0,01}{0,05} = 0,2, \quad 0,2e = v^2$$

$$e = 5v^2 \cdots\cdots\cdots (5).$$

$$c't = v, \quad c' = \frac{v}{t} = 0,10, \quad 0,10\,t = v$$

$$t = 10v \cdots\cdots\cdots (6).$$

Applichiamo queste formule ad un piano inclinato che abbia una lunghezza di 2,000 metri e 0,01 di pendenza eccedente quella che corrisponde all'attrito delle vetture sulle guide.

Conosceremo la celerità colla quale il convoglio arriva in $x$ sostituendo nell'equazione (5) $e = 5v^2$ il valore di $e$, ciò che ci darà:

$$2,000 = 5v^2, \quad v = \sqrt{\frac{2000}{5}} = 20^m$$

per la celerità in $x$.

E per avere il tempo, metteremo nell'equazione (4) il valore di $e$.

$$t^2 = 20e, \quad t = \sqrt{20 \times 2000} = 200''.$$

Se si confrontano questi valori coi casi analoghi in cui la vettura graviterebbe liberamente da $A$ in $C$,

Avremo:

$$e = Ay = 20^m;$$

e la celerità diverrà, mettendo 20 in luogo di $e$ nell'equazione (2),

$$v^2 = 20 \times 20, \quad v = 20.$$

Ciò che deve essere in effetto; poichè il corpo percorrendo il piano inclinato $Ax$, non ha potuto perdere alcuna parte del moto comunicatogli dalla gravità, avendo percorso in entrambi i casi il medesimo spazio verticale $Ay$. Solamente, sdrucciolando sul piano inclinato $Ax$, la sua velocità è stata successivamente e per intiero decomposta secondo $\frac{Ay}{Ax}$.

Al contrario il tempo della caduta si è aumentato nella medesima proporzione secondo $\frac{Ax}{Ay}$ in guisa che il tempo durante il quale la gravità che ha agito, ha precisamente compensato la diminuizione della sua intensità. In effetto l'equazione (1) ci dà in questo caso:

$$5t^2 = e, \quad t^2 = \frac{e}{5}, \quad t = \sqrt{\frac{20}{5}} = 2''$$

ossia il centesimo di 200''.

Si deve quindi evitare con ogni cura di lasciare i convogli abbandonati a sè stessi sopra pendenze eccedenti il limite corrispondente al loro attrito, poichè allora si mettono in moto più lentamente, è vero, ma seguendo la stessa legge come se cadessero liberamente, e finiscono coll'acquistare la stessa velocità come se avessero percorso direttamente tutta l'altezza della pendenza del piano inclinato.

Per prevenire i sinistri che potrebbero accadere nella salita, se alcune vetture si distaccassero dal convoglio, si

mette dietro le vetture un pezzo di legno armato di ferro. Tal specie di appoggio mobile striscia sul terreno e viene all'occasione a conficcarsi nella ghiaja al mezzo della via.

Un altro espediente che mi è egualmente riuscito consiste nel situare sulla strada di salita un pezzo di spranga *ab* (tav. III, fig. 10) tenuto aperto nella posizione *ab*, da una molla che gli permetta di prendere la posizione *ac*. Le vetture salendo, fanno chiudere la spranga che non oppone alcun ostacolo al corso del convoglio. Ma se una o più vetture sfuggono, le ruote discendendo infilzano l'intervallo *cb*, e la vettura è gettata fuori della via in un luogo preparato per riceverla, in guisa che non possa nè rompersi nè cagionare sinistri.

Si può anche far uso di sbarre mobili di legno o freni a battente (tav. III, fig. 11) che si gettano sulla via; come anche forti sbarre in legno *HI* (tav. III, fig. 12) sostenute ad una delle loro estremità da una catena *HK*, e giranti all'altro capo sopra un cardine *I*, in modo di situarsi naturalmente attraverso della spranga. Non sarebbe troppa prudenza l'usare ad un tempo tutte queste precauzioni, vista la gravità e la moltiplicità dei sinistri che si devono prevenire. Siffatti accidenti sono sopra tutto da temersi quando le vetture sfuggite avessero a precipitarsi sui luoghi di carico. Ho veduto qualche volta in tali avvenimenti spranghe intiere tagliate dalle ruote delle vetture come da cesoje ben affilate, e convogli intieri ridotti in un batter d'occhio in un mucchio di rottami e lanciati a scheggie da tutte le parti.

Nei precedenti calcoli non abbiamo considerato per nulla la resistenza opposta dall'aria al corso del convoglio. Tenterò di valutarla con quel grado di esattezza che l'insufficienza delle osservazioni fin qui fatte permette di ottenere.

Dietro le esperienze fatte da Borda e confermate da Pambourg, si può stabilire che la resistenza dell'aria per metro quadrato e per una velocità di $6^{m},50$ è eguale a $4^{ch.},24$ (1). Questa resistenza aumenta come il qua-

(1) Borda valuta la resistenza del vento sopra una superficie di un piede quadrato con una velocità di 20 piedi per secondo come equi-

drato delle velocità, poichè il corpo esposto alla sua azione a misura che procede più rapidamente, è percosso da una maggior quantità di molecole. Denominando questa resistenza, e mettendola in luogo di $e$ nell'equazione

$$(2) \cdots\cdots\cdots be = v^2$$

avremo

$$b'r = v^2.$$

Determineremo $b'$ mettendo il valore di $r$ e quello di $v$ relativi al caso particolare, determinati dagli autori da noi citati, il che ci darà:

$$4,24r = 6,50^2, \quad r = \frac{42,25}{4,24} = 9,96.$$

Mettiamo 10 per semplificare i calcoli, in guisa che l'equazione

$$10r = v^2 \cdots\cdots\cdots (7)$$

ci esprimerà il rapporto della resistenza del vento in funzione della celerità per ogni unità di superficie, cioè un metro quadrato.

La sezione traversale delle vetture essendo di 2 metri circa e la loro resistenza sulla strada di ferro di Saint-Étienne essendo di 0,005 lo sforzo necessario per metterli in moto diventerà

$$1,350^{\text{chil.}} \times 0,005 = 6,75,$$

cioè $3^{\text{ch.}},375$ per metro quadrato. Sostituendo questo valore nell'equazione (7) avremo

$$10 \times 3,375 = v^2$$

$$v = \sqrt{33,75} = 5^{\text{m}},80.$$

Ho veduto qualche volta sulla strada di ferro di Saint-

valente a 0,915 di libbra, cioè chil. 4,24 per metro quadrato con una velocità di 6,50; poichè

1 metro quadrato = 9,48 piedi quadrati,
che moltiplicati per 4,895 rapporto della libbra al chil.

danno . . . . . . 4,24 per la resistenza di un metro quadrato con una velocità di 20 piedi, ossia 6,50 di celerità. (Vedi Pambourg, *Trattato sulle macchine locomotive*, pag. 126 e seg.)

Étienne in circostanze favorevoli mettersi in moto le vetture per il solo effetto del vento, di cui si poteva valutare la celerità a 6 metri circa, locchè si accorda assai bene colla valutazione sopra riferita.

Ne segue che sopra una pendenza che ecceda di 0,005 quella necessaria a vincere l'attrito, una vettura vuota ed isolata non potrà mai acquistare una celerità maggiore di 6 metri per secondo: lo stesso calcolo servirà a determinare la celerità relativa a qualunque altra proporzione di pendenza.

Sia, per esempio, la pendenza 0,005 eccedente di 0,010 quella dell'attrito, la resistenza sopra questo pendìo sarà eguale a 6,75 per metro, ed avremo

$$v = \sqrt{10 \times 6{,}75} = 8^{m.},21$$

e se la vettura cadesse liberamente, il massimo della velocità che potrebbe acquistare ma non sorpassare, sarebbe espressa da

$$v = \sqrt{10 \times 675} = 82^{m.},10.$$

Questi calcoli, come facilmente si comprende, devono essere considerati come imperfette approssimazioni; dessi possono soltanto giovare ad istradarci ad osservazioni atte a formare una teoria intorno al modo di resistenza dell'aria che è sì poco conosciuto e sì poco studiato. Sembra che quando la prima vettura abbia una volta vinta la resistenza dell'aria, quelle che la seguono ne sentano poco gli effetti.

La celerità colla quale le vetture discendono sopra una pendenza eccedente quella rappresentata dal loro attrito, ci servirà a misurare l'attrito medesimo, tenendo però conto della resistenza dell'aria. A tal uopo si ha da scegliere una linea inclinata contigua ad un'altra che lo sia in senso opposto, o ad una linea orizzontale, e si deve abbandonare il convoglio sulla parte più inclinata, osservando l'altezza alla quale si trova al momento della partenza, ed il punto in cui perverrà sul piano opposto.

Supponiamo, come nel caso precedente, che si abbandoni in *A* (tav. III, fig. 13) una vettura del peso di

1,000$^{ch.}$, carica di 3,000$^{ch.}$, in tutto 4,000$^{ch.}$; sia il piano inclinato *AX*, d'una lunghezza di 2,000 metri, e d'un'altezza verticale *AY* di 30 metri, contiguo ad una parte *Xy* del livello.

La vettura arriverà in *X* con la celerità risultante dall'altezza verticale *AY*, meno la parte che rappresenta l'attrito, che indicheremo con *FY*, e quella dipendente dalla resistenza dell'aria che indicheremo con *TF*, vale a dire colla celerità relativa ad *AT*.

Arrivata al punto *X* la vettura proverà scorrendo la linea *Xy* la resistenza dell'attrito, rappresentata dalla linea *fy*, più quella dell'aria rappresentata da *ft*, ed arriverà ad un punto *y* tale che *ty* sia eguale ad *AT*, percorrendo uno spazio *Xy*, la cui lunghezza servirà a determinare *ty*, ossia l'angolo *tXy*, composto di *fXy*, che misura l'attrito, e *tXf*, che misura la resistenza dell'aria.

Supponiamo che la vettura dopo aver percorsa la linea *AX*, di 2,000 metri di lunghezza, giunga a 1,000 metri lungi da *X* ad un punto *y*, in cui si fermi; è evidente che l'attrito avrà allora esaurita tutta la celerità acquistata dalla vettura cadendo da un'altezza rappresentata da *AT*, e che si avrà $ty = AT$.

Denominando $a$ il rapporto di $ty$ ad $yX$ eguale a $\frac{TY}{YX}$ ed osservando che l'attrito aumentato dalla resistenza dell'aria, mentre la vettura scorre *yX*, è eguale alla gravità mentre percorre *AX*, avremo

$$1{,}000\,a = 2{,}000\,(0{,}015 - a)$$

da cui si ricava $a = 0{,}01$.

Per conseguenza il seno dell'angolo *TXY* ossia *tXy*, che misura l'attrito e la resistenza dell'aria, è eguale a 0,01 del raggio.

La vettura graviterà dunque da *A* in *X* colla celerità che avrebbe avuto cadendo nel vuoto da *A* in *T*, espresso da

$$(2) \cdots\cdots\cdots\cdots \quad v = \sqrt{20 \times 10} = 14{,}10$$

che determinerà in *X* una corrente d'aria contro la vettura avente la medesima celerità.

Questa celerità determinerà una resistenza *R* contro la vettura eguale per ogni metro quadrato di superficie a

$$(7) \cdots\cdots\cdots R = \frac{(14,10)^2}{10} = 20,18$$

o per i due metri di superficie occupati dalla vettura

$$20^{\text{chil.}},18 \times 2 = 40^{\text{chil.}},36.$$

E perchè questa resistenza è relativa ad un peso di $4,000^{\text{ch.}}$, vien dessa a corrispondere ad un dipresso a 0,01 del peso in moto.

Abbiamo detto che la celerità cresceva come il tempo scorso dall'origine del movimento, ed essendo essa nulla al punto *A*, e giungendo al suo massimo al punto *X*, ne consegue che la resistenza media dell'aria contro la vettura, mentre percorre *AX*, è eguale a

$$\frac{0 + 40,36}{2} = 20,18$$

che ripartita sul peso totale equivale a

$$\frac{20,18}{4,000} = 0,005045.$$

ossia in numero tondo 0,005, durante tutto il moto.

Il valore di *TF* diviene allora

$$2,000 \times 0,005 = 10^{\text{m.}}$$

e quella di *FY* esprimente l'attrito

$$FY = AY - AT - TF = 30 - 10 - 10 = 10$$

che ripartito sopra *XY*, ci rappresenta $\frac{10}{2000} = 0,005$ del peso totale.

Si misura anche la resistenza servendosi di un dinamometro, ossia peso a molla, col mezzo del quale si fanno avanzare le vetture. Questo istromento è munito d'un quadrante a ripartizione sul quale gira un indice che mostra a qual peso corrisponda la resistenza. Ho tentato più volte questo mezzo ma non mi è mai riescito, perchè la massa del corpo da mettersi in moto

è troppo considerevole in confronto della resistenza che oppone al tiro. Effettivamente bisognerebbe che la celerità colla quale il motore sviluppa la forza che deve vincere questa resistenza, fosse esattamente in proporzione colla velocità che è stata già comunicata alla vettura: in caso contrario l'indice soggiace a continue oscillazioni, e non può più essere d'alcun soccorso. Alla perfine non ebbi mai altro risultamento fuor quello di rompere gli strumenti dei quali mi sono servito per fare questi esperimenti, e non sembra che altri esperimentatori siano stati di me molto più fortunati (1).

Tutt'al più, tentativi di questo genere non potrebbero essere mai considerati come concludenti se non in quanto fossero stati spesse volte ripetuti: un'operazione isolata è soggetta a troppi errori, e può tutt'al più servire per mettersi sulla via di prevedere ed ottenere risultamenti più certi. Vi son troppe cause particolari atte a modificare e complicare le situazioni: il vento, l'ingrassamento, le differenze di forme e di peso dei veicoli, lo stato delle guide, quello delle macchine, e mille altre circostanze possono talmente far variare il risultamento che non si deve accoglierlo come vero se non con circospezione estrema.

Dietro un gran numero di esperimenti e di osservazioni son d'avviso che sulla strada di ferro di Saint-Étienne l'attrito è eguale a 0,005, ossia 1/100 del peso. Questa resistenza è più considerevole di quella che s'incontra sulla via di Manchester, di una quantità che sta sopra tutto in relazione colla differenza fra i diametri degli assi delle vetture. Si sa di fatto che l'attrito è sempre proporzionale alla celerità, e a un dipresso indipendente dall'estensione della superficie su cui si esercita; e perciò la resistenza procedente dall'attrito degli assi diminuisce a misura che il rapporto dell'asse al diametro aumenta. Nelle vetture della strada di ferro di Saint-Étienne questo rapporto è di 1/12, mentre in quella della strada di Manchester è di 1/24 ed anche di 1/30. Io non credo però che di là provenga tutta la dif-

(1) G. de Pambour, pag. 101.

ferenza, e si direbbe più esattamente che sulla strada di Manchester l'attrito totale degli assi sulle bussole, quello delle ruote sulla strada, del risalto delle ruote contro le guide, delle scosse causate dalle commessure di queste guide ed infine da tutte le altre cause, non è che $\frac{36}{50}$ di quello della strada di Saint-Étienne.

Per valutare l'attrito su quest'ultima strada io ho eguagliato tra loro due espressioni della resistenza riferibili a due parti della linea aventi un'inclinazione differente, facendo entrare come incognita nell'equazione che rappresenta questa resistenza il valore dell'attrito, e quello dell'angolo indicante l'inclinazione della linea.

Sulla parte della linea fra Givors e Lione ove si trova una salita di 0,0004 il carico ordinario delle macchine è di 20 vetture: ma sono poi obbligate arrivando a Lione di superare una salita la cui inclinazione è di 0,004. Ma le macchine hanno sovente condotto 25 vetture fino a questo punto, e l'hanno anche qualche volta superato con tal carico, quando prima di arrivarvi avevano potuto acquistare una celerità sufficiente.

Se non esistesse quest'ultima salita si potrebbe senza dubbio aumentare il carico: e perciò un peso medio di 100 tonnellate credo che rappresenti quasi esattamente la potenza delle macchine su questa parte della linea. Fra Givors e Rive-de-Giers l'inclinazione della linea è di 0,00596, e le macchine trasportano per termine medio 33 vetture vuote o 33 tonnellate di mercanzie, carico che stimo equivalente approssimativamente ad un peso di 38,000$^{ch.}$.

Supponendo che la resistenza della macchina comparata al suo peso sia eguale ad una volta e mezzo quella delle vetture, e che l'eccesso della resistenza prodotta dal carico sia eguale a 50$^{ch.}$ (Vedi pag. 69) avremo, indicando con $x$ l'attrito:

$$\left(100{,}000^{chil.} + 14{,}000 \times \frac{3}{2}\right) \times (0{,}0004 + x) + 50$$

$$= \left(38{,}000^{chil.} + 14{,}000 \times \frac{3}{2}\right) \times (0{,}00596 + x) + 50.$$

Riducendo e cavando il valore di $x$:

$$98,40 + 121,000\,x = 401,64 + 59,000\,x$$

$$x = \frac{303,24}{62,000} = 0,0049.$$

I fatti seguenti confermano tal risultamento: i convogli discendono per il solo effetto della gravità acquistando sempre una velocità maggiore sulla pendenza di 0,0059, fra Rive-de-Gier e Givors. Basta però che una circostanza particolare produca un lieve aumento di resistenza perchè si fermino sulla via. Un convoglio ben ingrassato ed in buono stato si mette in moto sulle rette e non sulle curve; quando non è in sì buona condizione è d'uopo che i conduttori si adoperino per far girare le ruote: il convoglio parte allora superando le curve ed acquistando velocità. Ciò che dimostra che la resistenza nelle circostanze favorevoli non giunge a 5 millimetri, si è che arrivando a Givors i convogli percorrono per 2,000 metri una pendenza di sola 0,00498, senza perdere sensibilmente della loro celerità.

Quando i convogli sono abbandonati alla loro gravità su una pendenza di 0,00596, il loro attrito essendo eguale a 0,005, la celerità che acquistano è allora relativa all'inclinazione, che corrisponde a 0,00096, cioè circa un metro per ogni 1,000 metri. Dopo aver percorsi 2,000 metri le vetture hanno già acquistato una celerità rappresentata da

$$v^2 = 20 \times 2 \cdot v = \sqrt{40} = 6^m, 30.$$

Quanto più i convogli sono composti di maggior numero di vetture, tanto meglio si mettono in moto e tanto meglio conservano la celerità acquistata. Si perviene quindi ad evitare che il corso si rallenti coll'aggiungere alcune vetture, quando circostanze particolari come sarebbe la direzione del vento, la poca nettezza delle guide, le nevi, la solidificazione dell'olio per effetto del freddo, rendono il tiro più difficile del solito. Si deve però evitare di riunire convogli troppo numerosi: si commetteva per esempio un'imprudenza estrema nel riunire

come si è fatto qualche volta, ad onta del mio espresso divieto, fino a 100 vetture, che danno un peso di circa 400 tonnellate. Essendo la quantità del movimento rappresentata dalla massa moltiplicata col quadrato delle velocità, si vede a qual proporzione enorme debba alzarsi per quanto lento possa essere il corso. Quando succedono scontri le prime vetture vengono inevitabilmente rotte e fatte a pezzi. Se una ruota si rompe, se qualche parte d'una vettura si sconcerta, questo aumento di resistenza, che basta a fermare un convoglio di 20 vetture, non produce lo stesso effetto sopra un convoglio che ne ha 100; la gravità è allora più forte dell'ostacolo, il convoglio continua il suo corso e le conseguenze possibili di un tal accidente sono incalcolabili. La celerità acquistata dai convogli in moto è invero moderata, come abbiamo veduto, dalla resistenza dell'aria; ma questa causa ritardatrice, abbastanza considerevole per una vettura vuota, diminuisce in una proporzione che segue quasi il rapporto del peso intiero del convoglio comparato a quello d'una sola vettura. Dessa resta quindi quasi senza effetto sull'andamento d'un gran convoglio.

Si è voluto qualche volta mettere a profitto l'impulso già dato al convoglio arrivando al piede d'una salita per ajutarlo a superarla: ciò ha luogo nel passaggio di Rainhill sulla strada di Manchester. Questo mezzo può essere impiegato, e riesce assai bene allorchè nulla impedisce alla macchina di acquistare tutta la sua celerità. Ma per la minima causa che ne imbarazzi il corso, il convoglio non potendo raggiugnere la sommità della salita, si troverà nella necessità di retrocedere, oppure bisognerà sopraccaricare la valvola di sicurezza della macchina per supplire con un'eccedenza di pressione alla forza che le mancherà. A me sembra ben più ragionevole e più consentaneo all'interesse del servizio, l'eguagliare le pendenze tutte le volte che lo si può, anche aumentando grandemente le spese. Bisogna generalmente tenersi in guardia contro quelle pratiche eccezionali che si risolvono sempre in perdita di tempo e di denaro, ed in aumento delle probabilità dei sinistri.

Il piano inclinato del Rainhill ha 2,400 metri di lunghezza sopra 0,01 di pendenza, il che rappresenta una differenza di altezza di 24 metri. Allorchè le macchine arrivano col loro convoglio a piedi della salita hanno ordinariamente una celerità di 15 metri per secondo; se continuassero a non sviluppare esattamente se non la forza necessaria per vincere l'attrito del convoglio aumentato dalla resistenza dovuta alla gravità, sulla salita di 0,001 che s'incontra prima d'arrivare al piede del piano inclinato, questa velocità sarebbe sufficiente per innalzare le macchine ad un'altezza rappresentata da

$$e = \frac{v^2}{20} = \frac{225}{20} = 11^m,25$$

vale a dire che potrebbero percorrere, 1,125 metri o pervenire ad un dipresso alla metà del piano inclinato.

Sia per questa ragione, sia per non affaticarle troppo, non si dà loro che il carico di 6 ad 8 vetture, o carrozze da viaggiatori, ciò che rappresenta circa il terzo, o tutt'al più la metà, di quello che la quantità di vapore da esse prodotto farebbe loro strascinare (1). Si aumenta grandemente il fuoco, la macchina somministra momentaneamente un grande eccesso di vapore, ed il convoglio, approfittando dell'acquistata celerità, perviene così artificialmente a superare il piano inclinato.

Nello stesso tempo che il corso si rallenta, la resistenza opposta dall'aria al movimento del convoglio diminuisce: da altra parte la macchina consumando minor vapore, il conduttore tende la molla per aumentare la pressione, in modo che tutti questi mezzi combinati e messi in esecuzione da abili operai coprono a quasi tutti gli occhi i piccioli inconvenienti da me indicati.

Questa salita del Rainhill, di $0^m,01$ per metro, è una delle più grandi che siasi finora fatta praticare dalle macchine a vapore. Però dietro i saggi da me fatti nella strada di Saint-Étienne sopra una salita di 0,013, credo che vi sarebbe vantaggio, sotto il triplice rapporto della

(1) G. de Pambour, pag. 230.

velocità, della facilità del servizio e dell'economia, nell'impiegare le macchine anche sopra una salita di 0,015.

Applicando alla pendenza di 0,015 i calcoli che abbiamo stabiliti (V. pag. 74) per conoscere i pesi che possono essere strascinati dalle macchine sopra una data pendenza, avremo

$$c = \frac{e - r - pz}{f + z} = \frac{416{,}50 - 110{,}50 - 14{,}000 \times 0{,}015}{0{,}015 + 0{,}0036} = 5{,}200^{\text{ch.}}$$

e tuttavia il carico ordinario delle macchine sopra il Rainhill è di 20,000 chil. circa. Tra Rive-de-Gier e Terre-Noire, sopra una pendenza di 0,01378, sono pervenuto a far trasportare per termine medio un peso di 12,000 chil. dalle nostre macchine, le quali a velocità eguale impiegano ad un dipresso la medesima quantità di vapore alla stessa tensione che quella della strada di Manchester. Credo che sarebbe possibile di rendere le macchine locomotive atte ad agire sovra le pendenze che non eccedessero 0,015, limite già superiore a quello che ordinariamente suole prefiggersi costruendo una strada di ferro. Basterebbe per ottenere simile risultamento il far loro subire alcune leggiere modificazioni che non altererebbero per nulla il sistema generale. Per esempio, vi si metterebbero alcune ruote di più, si darebbe alle esistenti un maggior diametro, per accrescere l'attrito ed impedir loro di sdrucciolare sulle spranghe: si aumenterebbe il peso della macchina mettendovi il serbatojo dell'acque, o la provvigione del *coke*; o si darebbe un po' più di capacità ai cilindri per aumentare il peso della macchina. Sarebbero questi altrettanti mezzi per raggiungere lo scopo, e non ne conseguirebbe alla fin dell'anno una variazione sensibile nelle spese del mettere in opera e del mantenere la macchina.

È quindi fuor di dubbio che si arriverà quando si vorrà a costruir macchine capaci di trascinare sulle pendenze di 0,015, ovvero 1/66 un carico di 20 tonnellate o di 20 vetture vuote con una celerità eguale, o poco inferiore, a quella che si ottiene oggigiorno sulla strada di ferro, vale a dire di 36,000 metri circa all'ora o 10 metri per secondo. Tuttavia affinchè possa tornar a buon conto

il dare questa estensione all'impiego delle macchine, bisogna che il piano inclinato abbia una certa lunghezza e che meriti lo stabilimento d'un servigio ad esso specialmente dedicato. Perchè le macchine modificate in modo da percorrere i piani inclinati non potrebbero senza inconvenienti essere messe in moto sulle altre parti della strada, e il vantaggio vagheggiato si cambierebbe allora in perdita evidente.

Supponiamo che la macchina trasportando 20 tonnellate, l'eccedente del prezzo che costerebbe per farle percorrere un chilometro sopra salite di 0,010 a 0,015, sia compensato dall'economia risultante dal discender essa pel solo effetto della gravitazione: il costo di trasporto per tonnellata e chil. (vedi pag. 70) diverrà

$$\frac{0,80 \times 2}{20} = 0,08 .$$

Per confrontare questo prezzo con quello dei trasporti serviti dai cavalli prenderò per esempio il costo per fare la salita sulla parte della strada di ferro da Saint-Étienne a Lione, ove la pendenza è di 0,01378, e si avvicina molto a quella che ho supposto.

La sua lunghezza fino al luogo medio della distribuzione delle vetture è di 19,000 metri, e il prezzo del trasporto per ogni cavallo è di 2 franchi per vettura o tonnellata, ossia quasi $0^{f},10^{c}$ per tonnellata e chilometro, prendendo in compensazione il peso delle vetture e quello delle tonnellate trasportate. Vi sarebbe dunque economia nell'impiegare le macchine: ma la diminuzione delle spese non sarebbe che il minimo dei vantaggi: se ne avrebbe uno ben più grande nella rapidità colla quale si effettuerebbe il trasporto delle mercanzie: perchè nello stato attuale uno dei principali imbarazzi del servigio di quella strada risiede nell'impossibilità di soddisfare a tutte le domande. Ora fra le spese del servigio ve n'è una buona parte che resta sempre la stessa, qualunque sia la quantità dei trasporti, e l'aumento di spesa occasionato da un maggior movimento non è relativa all'accrescimento degli introiti.

Per istabilire una comparazione esatta fra questi due

mezzi di trasporto bisognerebbe far entrar in conto l'aumento di spesa che deve risultare dal maggior deterioramento delle spranghe frequentate dalle macchine. Ma questa valutazione è assai difficile; perchè se le macchine logorano le spranghe, i cavalli sfondano la via, e la manutenzione di quelle richiede un'eccedenza di spesa che compensa in parte il deterioramento delle spranghe. Tale scalpitamento continuo scioglie il terreno, i dadi si spostano e perdono di solidità, e basta in seguito ogni debole sforzo per gettarli fuori della linea, e causare frequenti accidenti nel materiale, e costose riparazioni. Cionnondimeno nulla v'ha di più vizioso che l'impiego simultaneo dei cavalli e delle macchine: i cavalli schiacciando sotto i loro piedi i materiali delle ruotaje si forma del fango che slanciato contro le spranghe le fa sempre lorde. Il traimento incontra maggior resistenza; il fango favorisce lo sdrucciolamento delle ruote delle macchine, che girano sovra sè stesse senza progredire sulle spranghe: la loro distruzione diviene così più pronta, mentre le macchine provando anch'esse frequenti scosse si logorano moltissimo, e sono messe molto più presto fuori di servizio.

L'estrema nettezza delle spranghe è indispensabile se si vuol ritrarre dalle macchine tutto il vantaggio possibile. Allorchè una strada di ferro è frequentata dai cavalli, od anche quando un regolamento severamente eseguito non ne interdice l'accesso al pubblico, non è possibile il calcolare quali possano essere i risultamenti dell'impiego delle macchine con tutte le convenienti precauzioni.

Credo dunque che le compagnie debbano fare ogni sforzo per sostituire le macchine ai cavalli dappertutto ove ciò è possibile; e la mia opinione è che mettendo anche da parte ogni altra considerazione, e non ravvisando che la quistione dello sborso, vi sarebbe vantaggio a farlo anche sopra pendenza di 0,015.

Abbiamo veduto a pag. 69, che lo sforzo della macchina locomotiva, allorchè il peso totale del convoglio è di 94 tonnellate, ammonta a 416,50, e che la somma dell'attrito della macchina e delle vetture, produce una

resistenza equivalente a 0,00442 del peso totale. Se si suppone che $y'X$ (tav. III, fig. 13) sia quella parte di strada di ferro che precede il piano inclinato del Rainhill andando da Manchester a Liverpool, e che la macchina arrivi in $X$ con 6 od 8 vetture, con che si riduce la resistenza al terzo circa della sua forza reale, il Rainhill avendo un'inclinazione di 0,01, la resistenza totale diverrà

$$0{,}01 + 0{,}00442 = 0{,}01442 \text{ del peso,}$$

vale a dire che sarà circa tre volte maggiore che sopra $y'X$. Ma essendo, al contrario, la massa del convoglio tre volte minore, verrà strascinato colla medesima velocità, come se la macchina avesse il suo carico ordinario.

Se la resistenza del convoglio invece di essere il terzo fosse la metà di quella corrispondente a tutta la forza della macchina, essendo la resistenza sul piano inclinato di 0,01442, la macchina non potendo vincere colla metà del suo carico se non una pendenza doppia di quella rappresentante l'attrito, vale a dire

$$0{,}00442 \times 2 = 0{,}00884$$

non basterebbe più a far risalire il convoglio che perderebbe gradatamente la sua velocità fino a fermarsi. Bisognerebbe dunque impiegare una macchina di rinforzo, oppure fare arrivare il convoglio in $X$ a piedi del piano inclinato con una velocità capace di fargliene raggiugnere la sommità.

Poichè la resistenza è di 0,01442, e stante che la macchina può vincere uno sforzo di 0,00884, vi ha dunque una deficienza di forza rappresentata da

$$0{,}01442 - 0{,}00884 = 0{,}00598$$

sopra una lunghezza di 2,400 metri rappresentante un'altezza verticale di

$$2{,}400 \times 0{,}00598 = 11^{m},96.$$

La macchina dovrà dunque arrivare in $X$ con una velocità tale, che se la forza motrice cessasse in quel punto di agire, tale celerità rappresentasse ancora uno sforzo

capace di sollevarla ad un'altezza di $11^{m},96^{c}$. Per determinare questa velocità avremo ricorso all'equazione

$$(2) \quad v^2 = 20\,e \,.\, v = \sqrt{20 \times 11,96} = 15,4$$

oppure $15^{m},40$ per secondo, che fanno 55 chilometri, ossiano da 13 a 14 leghe per ora, celerità che si ottiene sovente nelle corse ordinarie.

Bisogna sempre che le macchine abbiano una certa quantità di forza al di là di quella che sarebbe loro necessaria per strascinare il proprio convoglio, affinchè non si esiga troppo tempo onde ridurlo alla celerità che deve conservare nel resto del tragitto. Questo eccesso di movimento, il quale, posto per così dire in riserva, può essere messo a profitto per vincere un'eccedenza momentanea di resistenza, come si pratica nel piano inclinato del Rainhill, è quello stesso che si realizza al momento dell'arrivo quando si arresta il giuoco della macchina, e che farebbe oltrepassare la meta se non si avesse cura d'intercettare il vapore alcuni istanti prima.

La celerità che acquista un convoglio quando è mosso da una macchina dotata di potenza superiore alla sua resistenza passiva, può essere valutata in modo semplicissimo paragonando la forza in più, con quella che è necessaria per vincere una resistenza rappresentata da una data inclinazione.

Supponiamo, riportandoci alle cifre che abbiamo fissate poc'anzi, che questo eccesso produca lo stesso effetto come se il convoglio fosse situato sopra un piano avente un'inclinazione corrispondente al di più della potenza della macchina e che obbedisse liberamente alla sua gravità. Lo sforzo della macchina essendo eguale a 0,00442 del peso del convoglio, se la di lei potenza è aumentata di $\frac{1}{4,42}$, vale a dire, se è capace di vincere una resistenza di 0,00542 ossia di 0,001 di tutta la massa del convoglio eguale a 94,000 chil. al di là di quanto è necessario per vincere la sua resistenza passiva o statica, il convoglio si metterà in corso come se gravitasse sopra una pêndenza di 0,001. L'effetto che produrrebbe

e nell'altro. A questo proposito ho quasi sempre osservato che le grandi masse di produzioni naturali, il cui impiego soddisfa qualche bisogno dell'uomo, sono situate generalmente in luoghi d'onde può farsene il trasporto colle più grandi facilità. Non è ella pur questa una delle mirabili viste della Provvidenza, che si rivelano a noi a ciascuno de'nostri passi nel progresso, per cui sembra che tutto sia stato disposto dapprincipio in modo che la natura non opponga mai il minimo ostacolo all'incivilimento dell'umanità, ma al contrario ci offre per ciascun nuovo bisogno nuovi tesori della sua fecondità? Si può ragionevolmente ritenere come un fatto costante, che il movimento in discesa sarà sempre più considerevole che quello della salita, quando la linea sarà destinata ad un uso locale. Si dovrà quindi per eguagliare lo sforzo totale delle macchine nell'andata e nel ritorno, valutare la differenza dei trasporti alla salita ed alla discesa, e bilanciare la forza del traimento colla proporzione più o meno elevata della pendenza.

Supponiamo una strada di ferro il cui movimento nella discesa sia 600,000 tonnellate, il movimento nella salita di 100,000 tonnellate, e sul quale l'attrito sia eguale a 0,005 del peso. Dovendosi aggiungere a queste masse il peso dei carri od altri veicoli nei quali devono essere riposti, se supponiamo quest'ultimo peso eguale ad un terzo del primo, il movimento della discesa ammonterà a 800,000 tonnellate, e quello nella salita a 300,000 tonnellate. Indicando con $x$ la proporzione di pendenza che renderà il traimento eguale nei due sensi, avremo

$$800{,}000 \times (0{,}005 - x) = 300{,}000\,x \cdot x = 0{,}00363 = \frac{1}{275}.$$

Si vede in effetto che la resistenza dei convogli salendo sarà di

$$300{,}000 \times 0{,}00363 = 1090{,}90$$

e quella dei convogli discendendo

$$800{,}000 \times (0{,}005 - 0{,}00363) = 1090{,}90.$$

Sulla strada di Manchester la pendenza per le medesime quantità di trasporto diventerebbe

$$800,000 \times (0,0036 - x) = 300,000x \cdot x = 0,002618 = \frac{1}{382}$$

poichè

$$300,000 \times 0,002618 = 800,000 \times (0,0036 - 0,002618)$$
$$= 785,40.$$

Tali condizioni sono ancora modificate dalle curve le quali arrecano un'eccedenza di resistenza tanto più grande quanto minore è il loro raggio, in guisa che per rendere la bilancia affatto eguale bisognerebbe nelle curve aumentare la pendenza proporzionalmente all'eccesso della loro resistenza, di che tratteremo nel capitolo seguente.

## CAPITOLO IV.

### DELL'ECCESSO DI RESISTENZA OPPOSTA DALLE CURVE AL CORSO DEI CONVOGLI.

---

#### I. Dello sdrucciolamento delle ruote delle vetture sulle spranghe nelle curve.

L'eccesso di resistenza incontrata dai convogli quando percorrono le curve dipende da più cause; dapprima v'è l'attrito dell'orlo o risalto delle ruote sulle spranghe esterne della curva; dopo ciò le ruote fissate a due a due nel medesimo asse sono disposte per aver sempre entrambe un moto eguale: la differenza di lunghezza fra le due spranghe della curva obbliga la ruota esterna a percorrere nello stesso tempo un cammino più lungo che la ruota interna, e non può fare questo tragitto maggiore se non sfregando ad ogni istante per un picciolissimo spazio sulla spranga. Perciò quando una vettura *ABCD* (tav. III, fig. 15) si muove sopra una curva avente 500 metri di raggio fino alla spranga interna, e $501^{m}50^{c}$ fino alla spranga esterna, lo sviluppo di ciascuna delle due linee di spranghe essendo proporzionale ai raggi, ne consegue che sopra una lunghezza *CD* di un metro di spranga interna, la parte *FB* corrispondente della spranga esterna, avrà un'eccedenza di lunghezza di $0^{m},003$. Ma le ruote delle vetture essendo legate invariabilmente dal loro asse, e la ruota *A* dovendo percorrere uno spazio di 3 millimetri di più che la ruota *C* nel medesimo tempo, ne risulta che le ruote *AB* dovranno strascinarsi sulla spranga *AB* col carico che portano per uno spazio di $0^{m},003$ per ogni metro percorso.

Coulomb ha concluso dai suoi esperimenti che l'attrito del ferro sopra sè stesso è eguale al terzo circa del suo peso; ma in tali saggi, come anche in tutti gli altri analoghi fatti dai fisici, non si poteva prendere in considerazione una celerità sì grande come quella delle vetture e delle macchine. Sembrami dunque cosa più semplice il cercare la misura di questo attrito dietro osservazioni affatto speciali al caso da me trattato.

La gravitazione tende a far acquistare una grande celerità ai convogli che discendono da Saint-Étienne a Saint-Chamond. Per moderare il loro corso si devono stringere i freni in modo da produrre un moderato attrito sopra un gran numero di ruote: ma i conduttori per esimersi della continua vigilanza resa necessaria da questa manovra, e senza inquietarsi se stemprano o logorano le ruote, premono un certo numero di freni col mezzo delle loro taglie con sì gran forza che le ruote cessano intieramente di girare e sdrucciolano sulle spranghe, permettendo tuttavia al convoglio di continuare il suo corso senza aumento nè diminuzione di celerità. È evidente che l'attrito esercitato allora dalle ruote vien misurato dalla forza di gravitazione sminuita di quella che è necessaria per vincere l'attrito del convoglio.

Ho fatto varii esperimenti per rilevare qual numero di ruote si debba successivamente arrestare per impedire al corso d'un convoglio di sei vetture di accelerarsi, ed ecco i diversi risultamenti che ho ottenuti.

Allorchè le spranghe sono assai nette ed inumidite dalla rugiada, vale a dire in circostanze in cui lo sdrucciolamento produce il più grande effetto, bisogna sovra una pendenza di 0,0137, fermare compiutamente sei ruote, oppure tre assi.

In tempo ordinario bisogna remorare quattro ruote od un sesto della massa totale.

Finalmente, quando le spranghe sono sporche ed ingombre di fango secco, bisogna remorare due ruote o il dodicesimo del peso intiero.

L'attríto sopra la strada di Saint-Étienne potendo essere considerato come eguale quasi a 0,005 ne segue

che la forza che spinge le vetture a discendere sulla data inclinazione addiviene

$$0,0137 - 0,005 = 0,0087.$$

Il peso totale d'un convoglio di sei vetture si compone come segue:

| | |
|---|---|
| Peso di 6 vetture a $1,350 \times 6$ | $8,100^{chil.}$ |
| Carico di 6 vetture a $3,250 \times 6$ | $19,500$ |
| Oppure in tutto | $27,600^{chil.}$ |

La gravità in tempo ordinario tenderà per conseguenza a far discendere questa massa con uno sforzo rappresentato da

$$27,600 \times (0,0137 - 0,050) = 240^{chil.},12.$$

Questo sforzo basta per far sdrucciolare sulle sue quattro ruote una vettura carica del peso di 4,600 chil., dal che si conchiude che, in questo caso, la resistenza allo sdrucciolamento è di $\frac{240,12}{4600}$ del peso totale, oppure, per adottare un numero tondo onde semplificare i calcoli, 1/20. Questa quantità diventerà dunque $\frac{240,12}{6900}$, o circa 1/30 nelle circostanze più favorevoli allo sdrucciolamento e 1/10 allorquando le spranghe, per effetto del loro cattivo stato e della poca nettezza, presenteranno il massimo della resistenza dello stato ordinario del servizio.

I medesimi risultamenti sarebbero ottenuti direttamente facendo astrazione dal peso delle vetture e considerando soltanto la massa sdrucciolante messa in moto dall'effetto della gravitazione del convoglio, locchè avrebbe dato

| | |
|---|---|
| Per il primo caso, | $0,0137 - 0,005 \times 4 = 0,034$ |
| Per il secondo, | $0,0137 - 0,005 \times 6 = 0,051$ |
| Per il terzo, | $0,0137 - 0,005 \times 12 = 0,104$ |

Considerando dunque l'attrito delle ruote delle vetture sulle spranghe come equivalente al ventesimo del

loro peso, se la vettura pesa 4,600 chil., l'attrito per le due ruote esterne sarà eguale a

$$\frac{2300}{20} = 115^{\text{chil.}}$$

Ma dacchè questo attrito non ha luogo che durante il 0,003 della corsa, bisognerà moltiplicare questa quantità per 0,003, il che darà:

$$115 \times 0,003 = 0,345$$

per un peso di 4,600 chil., ossia 0,000075 del peso trasportato.

Se la curva avesse solamente 50 metri di raggio, un calcolo analogo indicherebbe un valore dieci volte più grande in ragione inversa del raggio, oppure 0,00075.

A questo sdrucciolamento in ragione della lunghezza dei raggi se ne aggiunge un altro che tende a prodursi nel senso della larghezza: questo è dovuto alla resistenza che su le spranghe di una curva si oppone al movimento in linea retta delle ruote delle vetture, e fa loro abbandonare ad ogni istante la direzione di tangente per la quale tutti i corpi mossi circolarmente tendono a sfuggire, e li obbliga per una serie continua di sdrucciolamenti traversali alla spranga, e per un attrito laterale, a seguire la direzione della curva.

Siano due spranghe *IB*, *LD*, (tav. III, fig. 15) che facciano parte di una curva del raggio di 500 metri, ed *A*, *B*, *C*, *D* i quattro punti delle ruote pei quali una vettura posa sulle spranghe. Esagerando a bella posta la picciolezza del raggio per rendere più sensibili i risultamenti ai quali siamo per giungere, osserveremo che se le ruote *A*, *B*, *C*, *D* della vettura in moto non fossero mantenute dalla spranga *IB* nella direzione della curva, esse continuerebbero a muoversi nelle direzioni *BT*, *DT'*. Bisogna per conseguenza, affinchè dalla posizione *ABCD*, la vettura giunga alla posizione *EFGH*, lontano un metro dalla prima, che le ruote *A*, *C*, prima di situarsi in *EG*, abbiano sdrucciolato a traverso di spranghe d'una quantità eguale a *CH* (la quantità *AF* rappresentando lo sdrucciolamento nel senso

della lunghezza della guida che abbiamo precedentemente determinato), e le ruote *BD*, per venire in *F* e in *H*, devono aver sdrucciolato egualmente in senso contrario sulle spranghe per una quantità eguale a *CH*.

Questa linea *CH* non essendo altra cosa che il senoverso di un arco eguale a *CD*, il cui raggio è di 500 metri, avremo

$$CH = \frac{CD^2}{2\,rag.} = \frac{1}{1000} = 0,001\,,$$

e poichè il quarto del peso della vettura, ossia 1,150 chil. posa sopra ciascuna delle ruote, essendo stato l'attrito del ferro sopra sè medesimo valutato, come sopra, 1/20 del suo peso, si avrà per l'espressione dell'attrito:

$$\frac{1150 \times 4}{20} = 230^{chil.}$$

O, moltiplicando per 0,001, poichè l'attrito non ha luogo che durante un millesimo del corso

$$230 \times 0,001 = 0^{chil.},230\,,$$

per l'attrito totale, oppure

$$\frac{230}{4600} = 0,00005$$

del peso trasportato, quantità la quale, come la precedente, varia in ragione inversa del raggio delle curve.

Si sarebbe pervenuti al medesimo risultamento osservando che i due attriti che abbiamo considerati nel senso *AF*, e nel senso *CH*, per lungo e per traverso della spranga, si risolvono in una rivoluzione intiera che le due ruote *A*, *B*, avrebbero fatto mentre avessero percorso la circonferenza intiera, il cui raggio fosse di 500 metri sopra una piastra di ferro intorno ai centri *C*, *D*; e ad un giro intiero delle ruote *A*, *B*, *C*, *D*, intorno ai loro assi. Si vede in effetto che la prima parte dell'attrito equivale a

$$\frac{2 \times 1150 \times 2BD \times \varpi'}{20 \times 4600 \times 1000 \times \varpi} = 0,000075$$

e la seconda a

$$\frac{4\times1150\times AB\times\varpi}{20\times4600\times1000\times\varpi}=0,00005.$$

II. Della resistenza, nelle curve, dell'attrito verticale dei risaltí delle ruote contro le spranghe.

Lo sdrucciolamento attraverso delle spranghe produce necessariamente un attrito laterale delle ruote contro le spranghe in $E$ e in $D$ (tav. III, fig. 15) perchè la vettura tendendo, in virtù del suo moto, ad avanzare nella direzione $BT$, e trovando in $A$ un ostacolo, mentre può avanzare liberamente in $C$, si porta sui punti $A$ e $D$, locchè produce un eccesso di resistenza.

Si può assomigliare questo attrito all'effetto che sarebbe necessario per far vincere alla vettura la resistenza d'una salita misurata dal seno-verso dell'arco percorso, la quale, dietro i calcoli che abbiamo stabilito, sarebbe di 0,001. Questo effetto avendo luogo sopra due ruote caricate ciascuna di 1,150 chil. rappresenta 2,300 chil. Egli tende a rovesciare la spranga esterna e la spranga interna fuori della via, con un'intensità di azione eguale ad un millesimo del peso che porta ciascuna ruota, ossia 1ch.,15 per ruota; e si aggiunge, in quanto alla curva esterna, all'effetto ben più considerevole della gravità, di cui tratteremo or ora. L'attrito che ne risulta contro il lato della spranga essendo considerato come uno sdrucciolamento, l'espressione della resistenza prodotta diventerebbe

$$\frac{2\times1150}{20\times4600\times1000}=0,000025.$$

Il meccanismo del nostro calcolo per determinare il valore delle diverse quantità opponentisi al corso delle vetture sulle curve, aumentando la loro resistenza, ci fa vedere che queste diverse resistenze sono tanto più grandi quanto più la via è larga e gli assi più discosti gli uni dagli altri. Effettivamente quanto più $AC$ diventerà grande, la differenza fra $FB$ e $HD$ aumenterà nella me-

ma ritenuto dalla curva $AV$, eserciterà in $U$, contro questa curva uno sforzo tanto più grande quanto sarà maggiore la lunghezza $SU$. Questa lunghezza servirà dunque a misurare la resistenza che si deve opporre dalla spranga alla deviazione della vettura.

Ciò posto, essendo il peso della vettura 4,600 chil., la sua celerità di 15 metri per secondo, e il raggio della curva $AV$ di 1,000 metri, determineremo il valore di $SV$ osservando qual sia il seno-verso dell'arco $AV$.

$$SV = \frac{AV^2}{2\,rag.} = \frac{225}{2000} = 0,1125.$$

Per paragonare questo valore coll'effetto della gravità alla superficie della terra, osserveremo che quando un corpo è abbandonato a sè stesso senza essere ritenuto da alcun ostacolo, e senza che nulla si opponga alla sua caduta, l'attrazione della terra gli fa percorrere uno spazio di 5 metri circa nel primo secondo del suo movimento. Ne consegue quindi che la vera misura della gravità sarebbe rappresentata dalla velocità che dovrebbe aver la terra affinchè, descrivendo un arco $AS$ in un secondo di tempo, il seno-verso $SV$ dell'arco percorso fosse eguale a 5 metri, o in altri termini, ne segue che se la terra fosse provveduta di tale velocità, i corpi situati alla sua superficie avrebbero una tendenza ad allontanarsi dal di lei centro tanto intensa che basterebbe a far loro percorrere 5 metri per secondo, locchè annichilerebbe la gravità, e renderebbe i corpi indifferenti ad occupare tutte le posizioni verticali in cui si volessero situare.

Questa velocità $AS$ sarebbe espressa da

$$AS^2 = 5 \times 13,730,000, \quad AS = 7,980^{m.}$$

o 17 volte circa la velocità attuale della terra, che è di 463 metri per secondo.

Affinchè lo sforzo che faranno le vetture per sfuggire dalle spranghe e la pressione contro di quelle fossero eguali alla gravità, bisognerebbe dunque che la loro velocità fosse sufficiente a far loro percorrere in un secondo uno spazio tale che $SV$ fosse eguale a 5 metri; ciò che

dà, supponendo una curva di 100 metri di raggio,

$$AS^2 = 5 \times 2000 \cdot AS = 100^{m.},$$

vale a dire una celerità di 100 metri per secondo.

Partendo da tal dato, possiamo conoscere lo sforzo della vettura per rovesciare le spranghe determinando *SV*, quando si conosca la celerità ed il raggio delle curve.

Si tratti dapprima di determinare lo sforzo *SV* sopra una curva di 1,000 metri di raggio, ed una celerità di 30 metri che è stata qualche volta raggiunta sulla strada di Manchester; avremo:

$$SV = \frac{30 \times 30}{2000} = 0,45,$$

$$\text{ovvero} \quad \frac{0,45}{5} = 0,09 \text{ di peso totale;}$$

per conseguenza, una macchina del peso di 9,000 chil. eserciterebbe, per rovesciare le spranghe, uno sforzo rappresentato da

$$9,000^{chil.} \times 0,09 = 810^{chil.}$$

Giova tuttavia l'osservare che il tempo durante il quale la spranga deve sostenere questo sforzo diminuisce a misura che la celerità aumenta; è uno sforzo passaggiero che non ha tempo di produrre il suo intiero effetto. Per tal modo si sa che battendo un gran colpo di martello sopra un'incudine non la si fa cambiar di posto, mentre se s'impiegasse, in una maniera continua la medesima forza a spingerla nel medesimo senso, si sposterebbe. Lo sforzo delle macchine e delle vetture, mosse con grandi celerità sulla strada di ferro, può dunque essere assomigliato a ripetute scosse che tendano a distruggere le spranghe offendendo la loro organizzazione interna piuttostochè a smoverle dalla loro posizione: e questo è pure ciò che a me parve sempre di riconoscere. Il ferro delle spranghe che avevano servito lungamente sulle strade di Darlington, di Manchester e di Saint-Étienne mi si presentò sempre come se avesse provata una specie di disorganizzazione, quasicchè fosse

stato battuto lungamente sopra un' incudine. Una parte di quelle spranghe si copre di picciole scaglie sottili che si staccano successivamente, e l'altra parte ben più considerevole si separa in filamenti in modo da presentare l'aspetto del canape.

La celerità ordinaria della strada di ferro di Manchester essendo di 15 metri per secondo, lo sforzo dei convogli nel senso orizzontale, comparato alle gravità, diviene

$$\frac{15 \times 15}{5 \times 2000} = 0,0225,$$

e lo sforzo di una vettura, del peso di, 4,600 chil. per rovesciare le spranghe

$$0,0225 \times 4600 = 103^{\text{chil.}},50.$$

Sulla strada di Saint-Étienne, con celerità di 6 metri e curve di 500 metri di raggio, s'avrebbe per il primo valore

$$\frac{6 \times 6}{5 \times 1000} = 0,0072,$$

e per l'attrito di vetture del peso di 4,600 chil.

$$0,0072 \times 4600 = 33^{\text{chil.}},12.$$

Si può considerare questa pressione come la misura dell'attrito che i risalti delle ruote delle vetture esercitano lateralmente contro le spranghe. Tuttavia il moto, e per conseguenza l'attrito, in luogo d'operarsi in un solo senso, si opera con una serie di sdrucciolamenti sopra una serie di piccioli segmenti di curve epicicloidali: locchè in ultima analisi torna lo stesso come se le superficie avessero sdrucciolato le une sopra le altre, seguendo una linea retta, od una curva continua. L'attrito essendo eguale a 1/20 del peso, avremo per misura dell'attrito della strada di ferro di Saint-Etienne

$$\frac{6 \times 6}{5 \times 1,000} \times \frac{1}{20} = 0,00036 \text{ del peso totale};$$

Ricapitolando queste quantità per valutare la resistenza totale troveremo:

1.° Per la strada di Saint-Étienne, sopra curve di 500 metri di raggio e con celerità di 6 metri:

| | |
|---|---|
| 1. Per la differenza dello sviluppo delle curve interne ed esterne e per lo sdrucciolamento lungo le spranghe (pag. 141) . | 0,000075 |
| 2. Per lo sdrocciulamento trasversale (pag. 142) . . . . . . . . . . . . | 0,000050 |
| 3. Per l'attrito contro le spranghe interne ed esterne (pag. 143) . . . . . . | 0,000025 |
| 4. Per la resistenza prodotta dalla decomposizione della gravità in senso orizzontale (pag. 147) . . . . . . . . . . | 0,000360 |
| Totale . . . | 0,000510 |

2.° Per la strada di Manchester sopra curve di 1,500 metri e con celerità di 15 metri:

| | | |
|---|---|---|
| 1. Per lo sdrucciolamento delle ruote sulle spranghe nel senso della loro lunghezza | $0{,}000075 \times 1/3$ | 0,0000250 |
| 2. Per lo sdrucciolamento traversale . . . . . . . . . . . . | $0{,}000050 \times 1/3$ | 0,0000166 |
| 3. Per l'attrito contro le spranghe interne ed esterne . | $0{,}000025 \times 1/3$ | 0,0000083 |
| 4. Per la resistenza prodotta dalla decomposizione della gravità nel senso orizzontale. . . . . . . . . | $0{,}000360 \times \frac{225}{36} \times 1/3$ | 0,0007500 |
| Totale . . . | | 0,0007990 |

Sarebbe al certo necessario maggior numero di esperimenti per assicurarsi sino a qual punto questi calcoli corrispondano al fatto. Mancano molti dati per valutare le circostanze particolari di ciascun caso. Per esempio, è ancora ignoto se l'attrito delle ruote contro le spranghe segua una legge indipendente dalle grandi celerità, o se i piccioli spazii che la velocità fa loro su-

perare ad ogni istante non diminuiscano l'attrito in modo sensibile. Questo si modificherà anche probabilmente impiegando ruote di buona tempra e perfettamente levigate, e secondo che esse sdrucciolino sovra spranghe asciutte od umide. Non si sa infine come si comportino le ruote contro i sostegni interni delle vetture contro cui sfregano nel loro corso, ne' quali siano la natura e l'intensità di tale attrito.

Gli sperimenti per determinare l'eccesso di resistenza che le vetture incontrano nelle curve comparativamente a quella che incontrano sulle linee rette nelle grandi celerità, sono ancora ben più difficili, e se ne è fatto scarso numero, per quanto io mi sappia. Trovo un solo fatto citato a questo proposito dal Maggiore Poussin (1); ma egli non dà nè i particolari dei saggi che hanno servito a stabilirlo, nè la celerità alla quale si riferivano questi sperimenti; omette puranco di dire se le spranghe della curva esterna avevano un'elevazione maggiore di quelle della curva interna, la qual circostanza, come vedremo ben tosto, giova a diminuire in gran parte l'eccesso di attrito che i convogli incontrano percorrendo le curve.

Il Maggiore Poussin stima che l'eccesso di resistenza sopra una curva di 122 metri percorse con una *velocità moderata*, esige uno sforzo della metà superiore a quella che fa d'uopo a percorrere una linea retta. Supponendo che la celerità sia di 5 metri per secondo, cioè un poco superiore a quella di 13 chilometri all'ora, della quale ei parla prima, avremo per le diverse quantità che si riferiscono all'eccesso di attrito nel caso particolare:

1.° Per la differenza di sviluppo delle spranghe e sdrucciolamento pel lungo . . $0{,}000075 \times \frac{500}{122}$ . . . . 0,000307

2.° Per lo sdrucciolamento traversale . . $0{,}00005 \times \frac{500}{122}$ . . . . 0,000205

(1) Maggiore Poussin, pag. 199.

3.° Per l' attrito contro le spranghe interne ed esterne . . $0{,}0000025 \times \frac{500}{122}$ . . . . 0,000102

4.° Per la resistenza prodotta dalla decomposizione della gravità nel senso orizzontale $0{,}000360 \times \frac{500}{122} \times \frac{25}{36}$ . 0,001020

Totale . . . 0,001634

Non conoscendo la misura dell'attrito sulla strada di ferro citata dal Maggiore Poussin, non posso valutare la differenza fra ciò che vien dimostrato dal calcolo e ciò che risulta dagli sperimenti; d'altronde sono ben lontano dall'offrire questi risultamenti come proprii a rappresentare esattamente i fatti. Quei metodi, od altri simili, possono tutto al più dimostrare con qual legge si regoli l'azione dei corpi gli uni sopra gli altri: ma non si può sperar mai di servirsene per prevedere *a priori* qualche cosa, se non si hanno, per termine di comparazione, osservazioni fatte in circostanze assolutamente simili. Per proceder dunque alla soluzione di queste diverse quistioni è d'uopo studiare minutamente tutte le particolarità atte a modificare i differenti effetti: allora soltanto si potrà far capitale dei calcoli coi quali si cerca di chiarirle, i quali, come si vede, non richiedono già una profonda cognizione delle scienze matematiche.

La principal causa dell'eccesso d'attrito incontrato dalle vetture percorrendo le curve, si è la gravitazione artificiale, che produce nelle vetture una tendenza ad essere gettate orizzontalmente fuori della via. Si potrà dunque, combinando tal forza con quella della gravità, determinare una risultante nella quale ognuna di quelle due quantità entrerà per il suo valore: e se si dispongono le spranghe della strada di ferro in un piano perpendicolare a questa risultante, si paralizzerà completamente l'effetto dell'attrito laterale del risalto delle ruote contro le spranghe, come anche la tendenza delle vetture a forviare.

Sia dunque *AB* (tav. IV, fig. 16) una linea orizzontale rappresentante il profilo traversale della strada di ferro. Allorquando le ruote d'una vettura saranno situate in *A* e *B*, il suo centro di gravità passerà per *DP* supponendo *DP* perpendicolare ad *AS*, e la vettura, se è mossa in una direzione *AS* perpendicolare ad *AB*, persisterà a conservare una posizione parallela al piano inclinato generato da una serie di linee *DP*, le quali rappresenterebbero le posizioni che la vettura prende nel suo corso.

Ma se la vettura è deviata dalla strada rettilinea per una curva *AM* di 500 metri di raggio sulla quale la gravità decomposta nel senzo *TY* eserciti, come abbiamo veduto a pag. 147 uno sforzo di 33$^{chil.}$,12 per una celerità di 6 metri per secondo, ossia 0,0072, è chiaro che la risultante da queste due forze non passera nè per *DP*, nè per *TY*, ma per una linea *DR* la cui posizione dovrà soddisfare a quelle due condizioni.

Ora si sa che la risultante *DR* è la diagonale del parallelogramma delle forze *DQRP* quando la lunghezza dei lati *DP*, *DQ* rappresenta l'intensità delle forze $x, y$; si costruirà dunque *DQRP*, facendo *DP*=5 metri per rappresentare la gravità della terra, e *DQ*=0,0072 misura delle forze centrifughe delle vetture nel senso *AD*; si tirerà la linea *DR* diagonale a *DPRQ*; e sul suo prolungamento si tirerà la linea *CB* perpendicolare a *TR* che diventerà un vero piano orizzontale per le vetture: la gravità non si dirigerà più verso il centro della terra finchè conserveranno la medesima celerità, ma bensì seguendo una linea *DR* la cui posizione si allontanerà da *DP* in ragione del quadrato di tale velocità e che dovrà per conseguenza essere compensata da un eccesso di rilevamento della spranga *A*.

Questo rilevamento della spranga esterna si riduce dunque a sollevarla d'una quantità *AC* eguale a 0,0072 di *AB*, ossia $0{,}0072 \times 1{,}50 = 0^{m}{,}0108$ sulle strade di ferro di Saint-Étienne con una celerità di 6 metri: e $0{,}225 \times 1{,}50 = 0{,}0337$ sulla strada di Manchester con una velocità di 15 metri. Il che è appunto quanto si fa ordinariamente, ma bisogna che il terreno sia bene assodato, e che le spranghe sieno ben solidamente stabilite,

perchè l'adunamento delle materie, quando la strada di ferro è battuta da gravi pesi non si confonda con questa differenza, come ciò è accaduto nei primi tre anni in cui venne praticata la strada di ferro di Saint-Étienne.

Per prevenire gli inconvenienti risultanti dal parallelismo degli assi nelle curve si dà qualche volta ai pezzi formanti la circonferenza della ruota una forma leggermente conica. Con questo metodo la gravità rigettando le vetture sulla curva esterna, le fa girare sopra una parte il cui raggio è tanto maggiore quant'essa si avvicina più alla superficie interna della ruota. Si deve allora dare alla spranga *A* un innalzamento minore di quello che è indicato dal calcolo, affinchè una parte della forza centrifuga che tende a rigettare le vetture da *B* in *A*, congiunta alla differenza dello sviluppo delle due ruote nella parte della circonferenza che posa sulle spranghe, mantenga la vettura su di quelle evitando l'attrito della lastra.

Il calcolo può indicare esattamente quali siano le quantità che soddisferebbero a queste diverse condizioni per date celerità e dati raggi di curvatura. Ma siffatta esattezza non si può raggiugnere nella pratica, e tutti questi mezzi non sono che palliativi imperfetti per supplire al maggiore sviluppo che dovrebbe darsi alle curve. Non mi diffonderò dunque più a lungo su questo proposito, e mi limiterò a rimandare chi cercasse più minute particolarità all'opera del signor di Pambour (1), ove si troverà tale quistione analiticamente trattata con tutta la desiderabile chiarezza.

Allorchè si dà ad una delle spranghe un innalzamento maggiore che all'altra per contrabbilanciare l'effetto della forza centrifuga, bisogna aver cura di conservare ad uno dei rami la livellazione della linea, affinchè gli impiegati possano regolare le loro operazioni sopra una direzione invariabile rappresentante quella del profilo per il lungo. Questa precauzione è importantissima per facilitare posteriormente la manutenzione della via: offre un mezzo di rettificare prontamente gli errori dei

(1) G. de Pambour, pag. 326.

cantonieri, i quali nei primi tempi, finchè non hanno acquistato una grande abitudine al lavoro, contribuiscono ad aumentare gli sconci prodotti dall'ammonticchiarsi delle materie, alzando ed abbassando inconsideratamente l'una delle spranghe. Si deve anche invigilare attentamente acciocchè il piano delle spranghe sia esattamente nella direzione della linea *CB*, e non in quella di *AB*, perchè il minimo errore nella loro inclinazione determinerebbe le macchine ed i convogli a pesare sovra le loro sponde e ne causerebbe prontamente la distruzione.

### IV. Di alcune cause accidentali di resistenza.

Hannovi ancora molte altre cause accidentali che aumentano la resistenza al corso dei convogli, intorno alle quali credo di dover presentare alcune brevi osservazioni. Le principali sono:

1.° La resistenza del vento di fronte o per traverso.

2.° Il difetto di parallelismo nelle ruote delle vetture.

3.° L'unione imperfetta delle stanghe che formano il quadro delle vetture, la quale fa sì che le quattro giunture invece di occupare i quattro punti di un parallelogrammo rettangolo si trovino invece agli angoli d'un parallelogrammo obliquiangolo.

4.° L'ineguaglianza del diametro delle ruote.

5.° L'assettamento imperfetto delle ruote sugli assi, in modo che l'asse non sia perpendicolare al loro piano.

6.° Un difettoso concentramento che fa sì che alcune parti della circonferenza della ruota siano più vicine al centro delle altre.

7.° Un cattivo accoppiamento delle vetture, in forza del quale il traimento non si opera più nella linea del centro di gravità.

8.° I cambiamenti di via.

9.° Le scosse causate dalla congiunzione delle spranghe.

10.° Il moto ondulatorio del convoglio.

11.° L'imperfezione dell'ingrassamento.

Recherà forse meraviglia il vedere che insisto sovra particolarità che spettano principalmente agli operaj incaricati di costruire o mantenere il materiale. Ma si

dee considerare che una strada di ferro è una macchina di tal precisione che esce del tutto dalla sfera dei mezzi grossolani sufficienti a costituire le buone vetture ordinarie: e poichè non si devono trascurare le più minute precauzioni per prevenire anche quegli inconvenienti, i quali spesso non aumentano che alcune frazioni di millesimo l'espressione dell'attrito, non sarebbe ragionevole il mancar di attenzione ad altre cause che possono produrre un effetto assai più considerevole nel complesso della resistenza, e ponno divenire sorgente di gravi sinistri.

I. Allorchè il vento spira di fronte o dietro al convoglio non può esercitare una grande azione per ritardarne od accelerarne il corso, perchè questa azione non ha luogo che sopra alcuni metri rappresentanti la maggior sezione della macchina. Tuttavia dacchè le resistenze aumentano in ragione del quadrato delle velocità, allorquando la direzione del vento è in senso opposto al corso della macchina, i due effetti accumulandosi possono dare a tal resistenza un gran valore.

Prendiamo per esempio un convoglio che progredisce con una celerità di 20 metri, in direzione opposta a quella di un vento che abbia la velocità di 30 metri. Se la sezione della macchina è di 30 metri la resistenza opposta dall'aria al corso del convoglio sarà eguale alla pressione esercitata da una colonna d'aria che avesse 3 metri di base, e l'altezza corrispondente ad una celerità di 50 metri, locchè vien rappresentato dall'equazione

$$(7) \cdots \cdot 10\,r = v^2 \cdot r = \frac{50 \times 50}{10} \times 3 = 750^{\text{chil.}},$$

vale a dire, a un di presso tutta la forza della macchina. Ma tanta velocità di vento è assai rara, e le macchine non sono ancora obbligate a percorrere in modo permanente le strade di ferro colla rapidità che abbiamo calcolata, in guisa che tale inconveniente può ancora essere considerato come un accidente passeggiero e di poca importanza.

La resistenza del vento traversale getta il convoglio

contro la fila di spranghe opposta alla sua direzione, il qual effetto può essere valutato in modo approssimativo come il precedente. Supponiamo un convoglio di dieci vetture di viaggiatori, presentante ciascuna una superficie di 6 metri quadrati nel senso della lunghezza delle spranghe, e per conseguenza in tutto una superficie di 60 metri. Se la velocità del vento è di 20 metri lo sforzo da esso esercitato sarà espresso da

$$(7) \cdots\cdot 10\,r = v^2 \cdot r = \frac{20 \times 20}{10} \times 60 = 2400^{\text{chil.}}.$$

Avendo noi supposto l'attrito 1/20 della pressione, la resistenza all'andamento sarà di 120 chilogrammi.

II. Il difetto di parallelismo negli assi delle vetture oppone al loro corso inconvenienti analoghi a quelli che provano percorrendo le curve. Ora, poichè una differenza di 0,003 tra lo sviluppo della spranga esterna e quello dell'interna produce una resistenza valutabile, e poichè, se gli operai allontanassero i sostegni, o cuscinetti, delle ruote *A, B* (tav. III, fig. 15), di $0^{m},003$ più di quanto sono disgiunte le ruote *C, D*, ne risulterebbe un eccesso eguale di resistenza, ne segue che la resistenza opposta dalle curve per questa leggiere imperfezione sarà raddoppiata, tutte le volte che le ruote le più allontanate poseranno sulla spranga interna.

III. Allorchè un accidente, un vizio di costruzione, una trascuranza nelle riparazioni fanno variare la situazione delle stanghe *AB, CD* (tav. III, fig. 15), che compongono il quadro della vettura, e che la diagonale *AD* non è più eguale a *CB*, la vettura esercita sopra i colli *A* e *D* o *C* e *B* secondo che è sformata, una pressione che la rigetta sulle spranghe, e vi cagiona un eccesso di attrito. Ciò non accade alle vetture destinate al trasporto dei viaggiatori: ma sopra strade di ferro che sono ingombrate da trasporti, i conduttori s'inducono spesso ad impiegare vetture provvisoriamente ristaurate, e rimesse per abuso sopra la linea. Se si considerasse tutto ciò che può risultare da questo abuso di servizio nell'aumentare la resistenza e la probabilità dei sinistri, si userebbe senza dubbio maggior prudenza, e non si farebbe percorrere la strada che da vetture perfette.

IV. L'ineguaglianza del diametro delle ruote, cambiando anche le relazioni di sviluppo delle loro circonferenze sopra le spranghe, produce un effetto analogo a quello derivante dal difetto di parallelismo negli assi. È difficile ottenere dai costruttori che le ruote sieno di un diametro perfettamente eguale: la fusione non è sempre regolarissima; la minima differenza di diametro nelle forme nelle quali si fondono le ruote per dare la tempera alla parte esterna della circonferenza, ne produce una simile nelle ruote. Se tali errori, lievi in sè stessi, invece di compensarsi reciprocamente, si aggiungono gli uni agli altri, e vengono a complicarsi con altre differenze, può conseguirne un notabile aumento di resistenza.

V. Le ruote devono essere stabilite sull'asse in modo che desso sia perfettamente perpendicolare alla circonferenza. Basta poca cura per ottenere questa condizione, ed è facile l'assicurarsi che siasi ottenuta, facendo girare l'asse ne' suoi colli in un tornio destinato specialmente a questa prova. Ma nelle scosse e negli accidenti accade ben spesso che gli assi si pieghino e si guastino, locchè distrugge il parallelismo delle ruote; ne risulta allora che la parte più larga delle ruote quando passa sulla spranga opera su di quello un grande attrito, e nasce anche una specie di scossa che fa salire l'orlo sulla spranga, mentre la parte opposta si getta dentro la spranga, locchè può far sì che la vettura cada fuori della via. Perciò quando gli assi di una vettura sono stati in qualche luogo sconcertati conviene riattarli o rimetterne ben tosto dei nuovi.

VI. Il difetto di concentramento delle ruote cagiona alla vettura una scossa che tende a scassinarla. Ma fra tutti gli inconvenienti che io conosco questo è uno dei più rari e dei più facili a prevenirsi. Le ruote nella fabbricazione più ordinaria vengono forate al tornio. A quest'effetto si usa assicurarle con una caviglia posta al centro del carro che porta il trapano e vengono in seguito introdotte negli assi con una berta: se vi è qualche possibilità di errore esso non accade se non riparando vecchie ruote il cui asse abbia da lungo tempo lasciato del

vuoto nel mezzo. Allora questo intervallo riempito con una bietta può ricondurre le ruote da quella parte. Tali riparazioni sono sempre imperfette e di poca durata, e quando una ruota è troppo libera nel suo asse non si può far meglio che sostituirne un' altra.

VII. L' accoppiamento delle vetture influisce singolarmente sul loro traimento. È ben facile l'intendere che non è possibile che il traimento abbia sempre luogo in una direzione che passi per il centro di gravità della vettura, e tuttavia questa condizione è assolutamente necessaria, affinchè le vetture nel loro corso non sieno spinte obbliquamente sulle spranghe. Vi è dunque tanta maggior ragione di accoppiare le vetture con iscrupolosa esattezza quanto è più difficile il farlo perfettamente. Si sono tentati per pervenirvi parecchi metodi dei quali nessuno ha fin qui potuto raggiugnere completamente lo scopo. Il primo che si è tentato consisteva nel situare in mezzo della vettura una barra di ferro crudo, che per mezzo d' una chiavetta si univa nella sua parte inferiore alla parte anteriore della barra della vettura seguente. Ma questa unione era sì rigida che il convoglio non formava più allora che una sola massa, e non era più possibile alle macchine ed agli uomini il vincere la sua inerzia e metterlo in moto. Da altra parte bastava che il corso delle vetture scontrasse un ostacolo qualunque, anche a deboli celerità, perchè le sbarre d' unione delle prime di esse fossero piegate guaste o staccate. Infine a queste sbarre bisognava aggiugnere catene attaccate con uncini all'estremità delle stanghe o pezzi principali del quadro delle vetture per ovviare agli inconvienti i quali nelle pendenze rapide avrebbero potuto accadere se venisse a sfuggire una chiavetta, ciò che avrebbe cagionato la discesa precipitata delle vetture lungo i piani inclinati. L'accoppiamento con sbarre rigide fu dunque abbandonato e si dovette star contenti, sopra parecchie strade di ferro, a due catene raccomandate solidamente con un anello o con un uncino alle estremità rispettive delle stanghe.

Questo metodo è ancora assai imperfetto perchè nella curva le vetture tirate forzatamente ad un solo dei loro

angoli vengono gettate a traverso della via. Egli è d'altronde quasi impossibile che gli accoppiamenti siano tanto esattamente eguali, perchè anche nelle linee rette il traimento si operi egualmente sui due lati.

Finchè non si eviterà di lasciare uno spazio fra le vetture, ne deriveranno sempre scosse che ne deterioreranno il materiale e affaticheranno i viaggiatori. Sulla strada di Manchester, e in generale su tutte quelle che sono destinate al trasporto dei viaggiatori, si riescì ad affievolire questo contraccolpo accoppiando le vetture col mezzo di forti molle in acciajo, e mettendo all'estremità delle stanghe cuscinetti di pelle guarniti di ferro ed imbottiti di crini di cavallo. Ma questo metodo non è abbastanza semplice, riesce troppo costoso, e la sua applicazione ad un movimento considerevole richiede troppe cure e precauzioni. È quindi da desiderarsi che se ne trovi un altro più economico e meno complicato.

VIII. I cambiamenti di via cagionano anch'essi un accrescimento di resistenza. Ma perchè questo effetto è limitato a tratti brevissimi, e generalmente assai rari, non ne risultano gravi inconvenienti pel servizio generale. Tuttavia i pezzi di ferro che si sostituiscono alle spranghe descrivendo in questi punti una porzione di curva di corto raggio, se la loro unione non è molto solida e se le diverse linee d'incrocicchiamento non sono state perfettamente studiate, possono derivarne frequenti sinistri.

Quando si passa da una via ad un'altra, si deve dare la maggior lunghezza possibile ai rami addizionali *DF*, *AC* (tav. IV, fig. 17), affinchè le curve, o piuttosto gli angoli *GAC*, *HDF*, per cui devono passare le vetture siano raddolciti quanto è possibile. È cosa molto essenziale il calcolare a dovere la situazione di questi tagli o *turnhout* e di far in modo che il movimento in discesa sulle pendenze rapide, vale a dire quello che sciupa maggiormente le vie, abbia luogo sopra curve meno strette che sia possibile.

Supponendo che la lunghezza *AC* sia di 40 metri; se le parti *GAB*, *ICB* sono unite a rette, esse rappresentano una curva il cui raggio sarà sempre inferiore a

$$\frac{20 \times 20}{2 \times 1,50} = 133^{m.}$$

se il *turnhout* è situato supra una curva, questo raggio dovrà aggiungersi a quello della curva, od esserne sottratto e i passaggi di questi punti presenteranno resistenza ed inconvenienti relativi alla rapidità della loro curvatura. La fatica che il passaggio delle vetture fa provare a quei punti richiede che siano costrutti con ogni sorta di cure e precauzioni: perchè il minimo sconcerto nei numerosi pezzi che formano un *turnhout* completo diviene una causa di sinistri. La curva dei *cuori* o pezzi situati in *BE* che servono ad attraversare le spranghe, deve anch'essa studiarsi perfettamente, come del pari si deve studiare la disposizione degli ingressi e delle uscite. In una strada di ferro molto variata in cui le curve sono assai ripetute, e spesso aderenti le une alle altre, bisogna sempre avere un gran numero di modelli ben calcolati che servano sia a fondere i pezzi, se devono essere di ferro fuso, sia a curvare le spranghe o i pezzi di ferro destinati a formare queste vie addizionali.

IX. Altra causa d'aumento di resistenza risiede nell'ineguaglianza dell'altezza delle spranghe nei luoghi ove sono riunite capo a capo, o nella loro cattiva unione sopra i cuscinetti. Si scorge questo difetto alla scossa che le vetture provano periodicamente e ad intervalli corrispondenti al tempo che la macchina impiega a percorrere una spranga. Non si è potuto ancora far scomparire intieramente questo ostacolo. Il ferro in capo della spranga è ordinariamente più sfogliato, e meno sano che nel mezzo: per quanto leggera sià la differenza di altezza fra le due estremità adiacenti, ne risulta l'urto e una deteriorazione tanto più rapida in quanto l'effetto riagisce sulla causa, scavando vieppiù la parte già troppo bassa.

Inoltre le spranghe sono anche soggette a scrostarsi ai capi nel senso laterale, e allorchè questo sporto è abbastanza avanzato nell'interno della via per servire di appoggio al risalto delle ruote e farle risalire sulla

costa delle spranghe, se si presenta in faccia dalla parte per cui arriva il convoglio, può far sì che le vetture escano fuor della via. È raro che le spranghe sortendo dal laminatojo siano perfettamente configurate; e basterebbe che fossero un po' storte per produrre un tal accidente, se i cantonieri nel metterle in opera non avessero cura di adattarle le une alle altre per mezzo di chiavi od artigli specialmente destinati a questa operazione.

Da tutto ciò, come anche dalle precauzioni richieste dallo stabilimento del *turnhout*, risulta chiara la necessità di dedicare una via al movimento d'andata ed un'altra a quello del ritorno. Questa misura è tanto più essenziale inquantochè non adottandola non si può aver la certezza di evitar sempre l'incontro dei convogli e delle macchine, o qualunque altro accidente che fosse conseguenza di uno sconcerto fortuito nell'ordine generalmente stabilito. Basterebbe che si avesse obbliato di avvertirne un solo dei numerosi impiegati che devono esserne prevenuti, o che un'altra occupazione avesse per qualche istante distratta la loro attenzione.

X. Le spranghe per quanto siano solidamente appostate, e quali che siano le loro dimensioni, si piegano sempre un poco al passaggio delle macchine ed anche delle vetture. Questa piegatura di frazioni delle spranghe fra i loro sostegni è minore nel mezzo che all'estremità, perchè le ruote della macchina e delle vetture mantengono le porzioni di spranghe chiuse fra due cuscinetti successivi come un travicello fissato ad entrambi i capi, locchè, come ognuno sa, aumenta di molto la resistenza.

Allorquando le giunture delle spranghe sono sgominate ne risulta un movimento simile al tempellamento delle navi che s'accumula nella massa delle vetture per mezzo delle molle e stanca i viaggiatori. Tuttavia non è ancora cosa ben certo che tal effetto sia dovuto alla cáusa che io gli assegno, ed è questa una quistione che richiede ulteriore studio. Quando una volta la causa sia riconosciuta, si giugnerà senza dubbio facilmente a paralizzarla combinando le masse e la posizione del centro di gravità in guisa che il movimento periodicò sem-

pre relativo a questi due elementi non coincida colla vibrazione che lo produce Quest'effetto è analogo a quello che prova una persona quando passa un fiume sopra una lunga trave: il numero delle vibrazioni della trave in un dato tempo è invariabilmente fissato dalle sue dimensioni. Se camminandovi sopra si ha cura di distruggere ad ogni istante, con un moto contrario, il moto che le si è comunicato precedentemente, l'ampiezza di ciascuna oscillazione non sorpasserà mai quella che corrisponde all'impulsione ricevuta da un solo passo: ma accumulando ad ogni mutar di piede il movimento, le oscillazioni acquisteranno tanta ampiezza che difficilmente un uomo vi si potrà mantenere in equilibrio.

Allorchè i convogli sono animati da una grande celerità, se incontrano un ostacolo sulle spranghe, o subiscono un cambiamento di direzione dietro qualche piegatura permanente, accidentale, od anche causata dal loro proprio passaggio, allora percorrono parabole indicate dalla direzione verso la quale sono lanciate, combinate colla gravità; e la pressione esercitata sulle spranghe aumenta o diminuisce secondo che s'allontanano o si accostano a questa direzione. Ma perchè la superficie delle spranghe non può mai essere perfettamente in linea retta, ne segue che all'attrito si sostituisce in parte una serie quasi incessante di picciole scosse successive le une alle altre.

Supponiamo che la celerità d'una macchina sia portata a 15 metri per secondo, e che passando sopra una porzione di guida *AB* (tav. IV, fig. 18), l'abbia fatta piegare di due millimetri. Sia questa porzione di spranga sostenuta da due cuscinetti discosti di $0^m,90$. La vettura pervenuta in *X*, quanto più s'avvicinerà a *B* la spranga comincierà a rialzarsi, e la vettura percorrerà *XB* con una salita di 0,002 per $0^m,45$, ossia $1/225$. Arrivata in *B* progredirà nella direzione *Y*, abbandonando la spranga *BX*. Ma tendendo la gravità a ricondurvela, vi ricadrà in un punto la cui distanza da *B* si potrà determinare, osservando che, onde adempire tal condizione, bisogna che mentre la vettura ha percorso *BT*, la gravità le abbia fatto percorrere *VT* eguale ad $1/225$ di

*BT*. Avremo allora per determinare *BT*, ripetendo l'equazione (1) del tempo $e = 5t^2$, e osservando che la celerità del convoglio da *B* in *T* essendo di 15 metri per secondo, la vettura nello stesso tempo che percorre *BT*, deve cadere da *V* in *T*:

$$BT = 15\,t, \quad \frac{1}{225}BT = 5\,t^2,$$

sostituendo in luogo di *BT* il suo valore $15t$, si avrà

$$\frac{15\,t}{225} = 5\,t^2, \quad t = \frac{1}{75} = 0{,}0133 \text{ di secondo.}$$

In fatto si vede che in 1/75 di secondo la vettura avrà percorso uno spazio *BT* di $\frac{15}{75}$, $= 0^m{,}20$ e che lo spazio *VT*, eguale a $\frac{0{,}20}{225} = 0^m{,}000888$ esigerà per essere percorso dalla vettura, in virtù della gravità, un tempo espresso da

$$e = 5t^2; \quad 0^m{,}000888 = 5\,t^2; \quad t = 0{,}0133 = \frac{1}{75} \text{ di secondo.}$$

La sua caduta cagionerà sopra le spranghe una piegatura che aumenterà indefinitamente l'effetto quando vi sia *isocronismo*, vale a dire se le cadute successive della macchina corrispondano all'intervallo che separa i dadi, cioè alla lunghezza di ciascuna porzione di spranga sostenuta fra due dadi.

Quest'effetto può anche influire sul movimento d'ondulazione delle strade di ferro a grande celerità.

Allorquando la macchina, per la sua caduta nel punto *T*, più o meno discosto da *B*, ha fatto ancora piegare la spranga *BD* d'una quantità eguale a $0^m{,}002$, deve nel risalire la pendenza da *T* in *D* che è eguale 1/225 esercitare sulla parte *TD* della spranga un'eccedenza di pressione relativa alla propria celerità. Per calcolare tal pressione osserveremo che una freccia di $0^m{,}002$ sopra $0^m{,}90$ rappresenta una curva il cui raggio è espresso da

$$rag = \frac{0{,}45^2}{0{,}002 \times 2} = 50 \text{ metri.}$$

la celerità essendo di 15 metri per secondo, la macchina, per percorrere la metà dello spazio *BD*, avrà bisogno di

$$\frac{0,45}{15}=0''03;$$

ma la gravità avrebbe fatto percorrere ad un corpo durante questo tempo alla superficie della terra uno spazio rappresentato da

$$(1) \cdots\cdots e=5t^2, \quad e=5(0'',03)^2=0^m,0045.$$

E poichè l'eccesso di resistenza risultante dal piano inclinato formato dalla mezza lunghezza della spranga la cui freccia $=0^m,002$, è misurato dal rapporto che passa fra queste due quantità, l'attrito e la resistenza su questo punto sarebbero state aumentate di

$$\frac{0,002}{0,0045}=\frac{1}{2,25}=0,444$$

della resistenza esercitata dalla macchina sopra una linea orizzontale (1).

XI. L'ultima delle cause che ho indicato come atte ad accrescere la resistenza delle vetture, è l'imperfezione dell'ingrassamento. Questa causa è una delle meno studiate: ed è cionnondimeno una di quelle a cui sono d'avviso si debba aver maggiore riguardo. Non intendo parlare qui solamente della natura e qualità delle diverse sostanze che s'impiegano a quest'uso: intendo soprattutto di parlare dei casi in cui le vetture non s'ingrassano punto, sia per dimenticanza dell'operajo che ne è incaricato, sia per sconcerto delle scatole o d'altre macchine destinate a contenere la materia grassa, sia per lo stato della temperatura che addensa e rende solidi gli olj ed i grassi, sia infine per qualunque altra causa che impedisca a queste sostanze di soddisfare all'uso per cui sono impiegate. Quando cessano d'introdursi fra gli assi ed i cuscinetti, e che la celerità sia un po' considerevole, gli assi si riscaldano ben tosto, i cuscinetti

(1) Vedi, per maggiori spiegazioni, le *Lezioni* del signor Minard *sulle strade di ferro*, 1834, pag. 64.

si sfogliano, i due metalli si penetrano reciprocamente, e la resistenza dovuta all'attrito si aumenta in grande proporzione. Una sola ruota che si trovi in questo stato basta per arrestare del tutto un convoglio di 20 vetture che discenda per effetto della gravità sulla pendenza di 0,006 della strada di ferro di Saint-Étienne fra Rive-de-Gier e Givors, locchè rende in pochissimo tempo inservibili gli assi e i cuscinetti sottoposti ad un tale attrito.

Si vede che il complesso delle cause contribuenti ad aumentare la resistenza delle vetture si riferisce ad una moltitudine di considerazioni particolari, delle quali le une sono sempre le medesime a condizioni date, e le altre sono relative all'esatta vigilanza da esercitarsi perchè nessuna negligenza si verifichi nell'esecuzione del servizio. Non sarebbe possibile il far uso di una macchina delicata e fatta con tutta precisione, se fosse abbandonata alle abitudini grossolane colle quali per lo più sono dirette le arti e le professioni ordinarie, e se non vi si mettessero maggiori precauzioni di quelle che usano i condottieri servendosi dei veicoli fabbricati dai nostri carpentieri.

Per ottenere dagli operai assidue cure ed intelligente attenzione è ordinariamente necessario il cambiare i costumi e le abitudini di tutta la popolazione della quale si ha da servirsi. A questa difficile intrapresa devono dedicarsi coloro che trasportano un' industria di tal genere in luoghi dove era dapprima sconosciuta. Bisogna altresì che essi per i primi abbiano fatto un minuto tirocinio in tutte le parti del servizio, poichè devono assicurarne la prosperità invigilando essi medesimi all'adempimento rigoroso di tutte le particolarità necessarie.

## CAPITOLO V.

### DEI LAVORI D'ARTE.

---

#### I. Dei trasporti di terra.

Tostochè sia adottato il disegno, si fa luogo all'esecuzione dei lavori, e si deve prima di tutto por mano all'apertura dei grandi tagli che potrebbero richiedere troppo tempo: bisogna anche per affrettarne lo sgombramento impiegare tutti i mezzi dei quali si può disporre; perchè se si calcola l'interesse dei capitali predisposti, l'aumentare degli introiti probabili, l'economia del tempo, ecc., si vedrà che le lungaggini le quali allontanano il momento in cui sarebbe stato possibile di mettere in attività la via in tutto od in parte, cagionano ben tosto perdite considerevoli. Le spese che si devono fare anteriormente all'esecuzione dei lavori costituiscono qualche volta un capitale rilevante; l'interesse di questa somma aggiunto quotidianamente alla massa dei lavori, va continuamente accrescendosi ed accumulandosi; e quando si tratta di spendere 8 o 10 milioni di franchi prima di fare alcun introito, si vede che verso la fine vi è in ciascun giorno una perdita reale di 1,000 a 1,200 franchi, senza contare la mancanza del guadagno.

È quindi urgente il concentrare nei cantieri dove si devono levare grandi quantità di terre o di roccie, tutta l'attività possibile. Tosto che si sono sgombrati alcuni metri di terreno fino al livello della linea, vi si posano provvisoriamente le spranghe sopra traverse di legno, e vi si fanno passare piccioli carri del contenuto di 1/2 metro cubico. Questi carri si tirano dapprima a braccia, fin-

chè il cammino sia abbastanza esteso per permettere l'impiego dei cavalli. Vi sono anche dei casi nei quali giova aprire provvisoriamente alcune strade obblique per levare gli strati superiori dei terreni, e per formare gli strati inferiori del terrapieno. Questo mezzo può anche essere messo a profitto come economia, quando il terrapieno trovasi in luogo più alto di quello dello sgombramento.

Si tratti, per es., di fare in *DB* (tav. IV, fig. 19) al terrapieno di 30,000 metri, col mezzo dello sgombramento *ED* più basso di *BD*, al quale debba unirsi con una linea avente 0,003 di pendenza.

Per operare lo sgombramento con tutta l'economia compatibile colla disposizione dei luoghi, si comincierà col dividere approssimativamente lo sgombramento *ED* in due parti *OPQR*, *OEDP*, proporzionate alla facilità con cui potrà farsi. Si stabiliranno provvisoriamente le vie *KVCT* che verranno a terminare a livello della giacitura *OP* dello sgombramento superiore, e che vi penetreranno per mezzo di piccioli tagli *HUS*, calcolati in tal guisa che le pendenze *KVC* non oppongono troppa difficoltà alla salita delle vetture vuote.

Il cantiere in *D*, sgombrerà *DEOPQR*, e formerà la parte del terrapieno *DCTB*; i cantieri *K* penetreranno nella parte *OSP*, e la sgombreranno per formare i primi strati del terrapieno *CT*, sui quali si andrà sollevandosi grado a grado fino a che *OSP* sia del tutto sgombrato.

I terrapieni fatti in questa guisa vanno meno soggetti ad abbicarsi che quelli fatti attaccando i tagli di fronte, e tal metodo presenta inoltre il vantaggio di formare i primi strati colle terre vegetabili grasse e leggiere, che si devono essenzialmente escludere dalla via per la facilità con cui si stemprano e si strasformano in fango. Tal natura di terreno compone sempre la parte superiore del suolo, mentre le parti inferiori più dure, più miste di roccie, ed anche formate di roccia viva, costituiscono una via eccellente in cui l'acqua s'infiltra con facilità.

Tali disposizioni, come ben si comprende, non possono esser prese se non in quei luoghi nei quali i pro-

prietari non hanno un grande interesse ad opporsi che si smuova il terreno al di fuori dello spazio destinato alla via. Del resto questi grandi movimenti di terreno si operano quasi sempre in punti discosti dalle abitazioni, e si può in tai luoghi disporre momentaueamente dei passaggi provvisorii, senza trovare forti opposizioni, e senza incontrare grandi spese per indennizzazioni temporarie.

Allorquando la disposizione dei luoghi si opponga all'impiego di questi mezzi, è necessario supplirvi con alcun altro che ottenga lo stesso effetto. Quello che m'è sembrato più semplice, e che ho spesso impiegato, consiste nel situare le spranghe provvisorie lungo la scarpa del taglio, formando così delle vie che concorrono tutte all'esecuzione del terrapieno. Ma ne nasce l'inconveniente di una pendenza troppo rapida, che affatica gli uomini ed i cavalli che fanno risalire le vetture vuote. Perchè la via abbia un poco di solidità bisogna che sia mantenuta contro la terra mossa con tavole di legno che sostengano i capi delle traverse. Però questo modo di operare non va esente da imbarazzi. L'estremità della via ove si fanno gli scarichi, e trovansi i *turnhouts* e le ramificazioni pel ritorno delle vetture vuote, è sempre troppo imgombrata, locchè disturba l'ordine e la celerità del servizio.

Ho spesse volte concepita l'idea, per accelerare i grandi sgombramenti, e fare economia nel trasporto delle materie, di tendere dalla parte superiore dello sgombramento alla parte inferiore del terrapieno due gomene parallele, sulle quali si farebbero passare alcune carrucole portanti dei cestelli legati gli uni agli altri con una corda leggera. Questa corda passerebbe dalla parte superiore del terrapieno nella gola d'una carrucola, il cui diametro sarebbe eguale alla distanza che separa le due gomene, e servirebbe a far risalire il cestello vuoto mettendo a profitto nella discesa la forza di gravità del cestello pieno.

Tale apparato sarebbe un vero *self acting* e se ne potrebbe variare la posizione senza grandi spese. Mi sono proposto più volte di farne il saggio nei lavori della

strada di Saint-Étienne, ma ne sono stato sempre impedito da qualche circostanza.

Nei cantieri nei quali si teme di restare in ritardo, il lavoro deve essere organizzato in modo che non sia mai interrotto: gli operai si accostumano con un aumento di salario non molto considerevole a sfidare l'intemperie delle stagioni: e quando hanno cominciato, l'incomodo di lavorare di notte o alla pioggia si classifica e si paga come qualunque altra privazione alla quale l'uomo si sottomette nella società per soccorrere ai bisogni di quella.

La forma delle vetture che si usano per gli sgombramenti deve essere specialmente atta a tal uopo, e combinata in modo da far sopportare agli uomini il minor lavoro possibile: quelle delle quali io mi sono servito giravano sopra un asse situato sul davanti del centro di gravità del carico, locchè permetteva di scaricarle facilmente.

Quando la via non è molto larga, per es., quand'è di 6 metri, e che il terrapieno da farsi sia considerevole, è ben fatto non elevarlo tutto ad un tratto a tutta la sua altezza per aver maggior facilità per lo scarico.

L'uso insegnerà ancora per lungo tempo a perfezionare gradatamente queste operazioni: ma coloro che vorranno recare miglioramenti in questa partita come in ogni altra, non dovranno perder di vista che la prima e più sicura guarentigia della loro riescita si è un calcolo esatto della forza e dell'uso di tutti i pezzi delle nuove macchine.

I terrapieni eseguiti colle vetture hanno l'inconveniente di abbicarsi più di quelli fatti coi mezzi anticamente posti in uso: sopra tutto i grandi terrapieni che progrediscono lentamente, operano avanti a sè stessi una spinta della quale bisogna diffidare quando esistano ai loro piedi, ponti, ponticelli, acquedotti, muri ad ala od altri lavori d'arte contro i quali vengano ad appoggiarsi. La mancanza di tempo non permette ordinariamente di far questi lavori con agio bastevole perchè possano seccare e consolidarsi. Se non si ha la cura di far trasportare delle terre dal lato opposto a quello per

cui arrivano le altre formanti il terrapieno, di caricare con eguaglianza il vertice della vôlta dei ponti, e di far assodare il tutto, è ben raro che i ponti e gli acquedotti non siano spinti avanti nel senso dell'andamento del terrapieno. Si può anche dire che quegli edifizj vengano ad esser sempre più o meno alterati per quante precauzioni si prendano.

L'ammonticchiamento graduale che si opera nei terrapieni è ancora sensibile a capo di cinque o sei anni, e bisogna per tutto questo tempo rialzare la linea ovunque hanno una grande elevazione. Tai movimenti sembra che sieno soggetti a certe condizioni dipendenti dalla maniera con cui le terre sono state versate sulla linea.

Il contenuto d'ogni vettura che si scarica essendo formato da una moltitudine di frammenti di diverse dimensioni, ciascuno di essi distribuendosi sullo strato già stabilito, vi si colloca in uno stato di equilibrio, per mantenersi nel quale dovrà resistere al movimento della materia versata posteriormente. Ne risulta uno stato di stabilità, e di omogeneità che rende la colmata eguale dappertutto, e più lodevole che se fosse stata fatta in modo irregolare. Perciò si vede che nei luoghi ove si congiungono le colmate di salita e di discesa esiste sempre un punto in cui la via s'ammonticchia più che in qualunque altro. Le scarpe si abbassano, la strada si allarga, e di questi punti è assai difficile la manutenzione in buono stato. È quindi essenziale per evitare tali inconvenienti di far battere e stivare il terreno tostochè i piedi dei terrapieni cominciano ad unirsi e finchè abbiano raggiunta l'altezza delle guide.

L'ammucchiamento dei grandi terrapieni, mentre si eseguiscono, tende a far avanzare tutta la massa della strada. Questo movimento sconcerta le vie stabilite provvisoriamente per i trasporti, e divien necessario di riattarle ad ogni istante, locchè fa perdere molto tempo. Quando ciò accadeva, alcuni stupidi operai della strada di ferro di Saint-Étienne, non avendo alcuna idea di ciò che dovea farsi in seguito delle spranghe, e d'altronde inquietandosene poco, avevano immaginato di batterle al capo con un martello per farle rientrare in posto.

Questo funesto espediente piacque tanto a tutti quelli che si trovavano in caso simile, che malgrado i divieti, le ammende e le punizioni più severe, un gran numero di spranghe venne in questa guisa mutilato e posto fuori di servizio.

La necessità della pronta ultimazione dei grandi lavori di sgombramento fa sì che sia difficile di poterli far eseguire per appalto. Un intraprenditore solvibile ignorando la natura dei terreni che può incontrare ad una grande profondità, sapendo che qualunque cosa accada, l'impegno da lui incontrato deve essere strettamente adempito a costo della sua rovina, è sempre inclinato a far sostenere questi rischi alla compagnia al di là del loro valore. Da altra parte non v'è alcun contratto sì ben concluso, e sì ben stipulato il cui scioglimento non esiga certe dilazioni procedenti sia dagli incidenti, sia dalle lentezze che può far nascere l'intraprenditore, il quale sa quanto importi alla compagnia l'evitare i ritardi. Quando anche l'intraprenditore fosse del tutto rovinato, la compagnia non avrebbe per ciò risentito minor danno. Vi sono d'altronde tali circostanze in cui i giudici malgrado la loro imparzialità, non saprebbero decidersi a condannare un intraprenditore ad adempire ad un impegno, per quanto assoluto che sia: così accadrebbe, per esempio, se pioggie straordinarie sciogliessero il terreno, e se geli prolungati facessero impraticabile il lavoro: se gli scavi incontrassero acque sotterranee che stemprassero le terre, ed obbligassero a trasportarle in vasi chiusi, come si fa della fanghiglia. Se incontrassero terreni mobili tendenti a livellarsi, che si rialzano a misura che si sgombra il luogo da essi occupato; se sopravvenissero scoscendimenti estesi a grandi distanze, e che per essere rattenuti esigessero precauzioni del tutto differenti da quelle che si erano potute prevedere ecc., ecc., accidenti tutti da me incontrati maggior e minor numero di volte.

Gli intraprenditori delle provincie rimote hanno generalmente poca esperienza, e vogliono esser guidati colla massima cura: essi hanno però sopra quelli che vengono dalle grandi città per incaricarsi d'intraprese

lontane, il vantaggio d'essere usati ai costumi ed alle abitudini degli uomini che devono impiegare, e sotto questo aspetto meritano, a condizioni eguali, la preferenza. Perciò mi sembra vantaggioso di cominciare a confidar loro i lavori in azienda interessata, vale a dire di convenire un prezzo da accordarsi loro in ogni caso, assoggettandoli nello stesso tempo al regime dell'amministrazione, tenendo una nota esatta dei loro sborsi per tenerne loro conto in ogni caso in cui dall'adempimento del loro contratto non ricavassero i mezzi di farvi fronte. Il capo dell'intrapresa deve d'altronde avere una cognizione abbastanza precisa del prezzo dei lavori, per non temere di mettere le eventualità sfavorevoli del contratto a peso della sua compagnia. L'intraprenditore sapendo che la sua esistenza è guarantita, e che egli è al coperto della possibilità di rovinarsi coi contratti da lui fatti, si affida intieramente al capo che lo dirige. Questo metodo concordante col principio di umanità che ognuno debba ritrarre di che vivere dal proprio lavoro, è anche conforme all'interesse della compagnia, la quale può scegliere fra uomini probi i più capaci a servirla con zelo. Ottiene anche per tal modo prezzi più moderati, e così risente essa pure il beneficio della guarentigia che offre ai medesimi.

Una grande intrapresa di strada di ferro è sempre diretta da un'amministrazione, la quale, come quella di uno stato, deve avere tutte quelle previdenze che sono necessarie quando si ha a mettere in movimento una grande massa d'individui. Egli è per questo che giova nello stesso tempo, in cui si guarentisce l'interesse degli intraprenditori, l'instituire una specie d'assicurazione di vita alla quale partecipano tutti gli operai ad oggetto di riservar loro una indennizzazione in caso di sinistro, da essere anche accordata alla loro famiglia in caso di morte. A questo effetto è indispensabile di fare sul prezzo di tutta la mano d'opera una ritenuta dell'uno o del due per cento secondo la natura del lavoro e dei pericoli che presenta. Questa ritenuta deposta nelle casse della compagnia, viene distribuita dal direttore sul rapporto dei capi di divisione e di sezione, sia a titolo di soccorsi temporarj, sia come pensioni agli operai feriti o storpiati, o alle loro vedove e figli.

## II. Dei tagli.

Non si può prevedere anticipatamente sotto qual angolo convenga tagliare le aperture per mettersi al coperto degli scoscendimenti. Vi sono terre che si sostengono perfettamente a 45 gradi, ed altre che smottano ad angoli ben inferiori, perchè sono frammiste di strati argillosi, e sciolte dalle acque sotterranee. In generale la parte bassa delle aperture è più solida che quella di salita per la ragione che è sempre senz'acqua.

I terreni accumulati o riportati sopra altri terreni per una causa qualunque non sono ordinariamente abbastanza aderenti per sostenersi quando si tagliano al piede. Nel corso dei lavori che ho fatto eseguire si è incontrata una falsa collina formata nel mezzo di una gola dalle colmate successive condotte dalle acque che si erano deviate da ogni parte della valle. Questa collina, quando la si ebbe tagliata al piede, si pose in movimento per l'estensione di 15 a 20 mila metri quadrati, locchè fece aprire profonde crepature, attraverso delle quali si poteva riconoscere la configurazione dell'antico terreno.

Quando si fanno grandi tagli in terre argillose, ferme e compatte, bisogna sempre supplire con attiva vigilanza al difetto di prudenza degli operai. Essi hanno quasi senza eccezione la funesta abitudine di scavare i terreni al piede per produrre gli scoscendimenti sotto i quali finiscono sempre tosto o tardi per soccombere. Gli intrapenditori i quali troppo spesso non hanno altro pensiero che quello di sollecitare l'opera, chiudono gli occhi sui pericoli di questo espediente, da cui derivò il maggior numero dei sinistri che io ebbi a deplorare. Tutte le raccomandazioni che non ho cessato di fare, tutte le punizioni che ho inflitte a coloro che trascuravano le necessarie precauzioni, non hanno potuto bastare a vincere la cieca ostinazione dei lavoratori ed a prevenire funesti eventi.

Il modo più semplice per fare i tagli consiste nel configgere nella terra vegetale, nella sabbia ed anche nelle terre argillose, ad una certa distanza dall'apertura, piuoli

di legno armati di picciole punte e cerchi di ferro. Si cacciano questi piuoli addentro, finchè si formano crepature le quali servono ad incastrarne un maggior numero, il cui configgimento determina la caduta di tutta la massa. Alcune volte per far più presto, non sapendo sotto qual angolo un'apertura potrà sostenersi, si prende il partito di lasciare le scarpe più ripide, rimettendo al tempo, alle pioggie ed al gelo il formarle sotto un angolo che convenga alla natura del terreno, ed incaricando gli stradini di levare le materie a misura che giungono nel fosso. Questo metodo mi è ben riuscito quando le materie erano sabbiose o miste di ghiaje e proprie a servire per consolidare la via. Ho osservato che quando le terre vegetali si mettono in moto, gli scoscendimenti si operano con grande irregolarità, e le scarpe in luogo di prendere un'inclinazione propizia alla loro stabilità, come dovrebbe essere trattandosi di un movimento naturale, assumono al contrario le forme più sfavorevoli pel rattenimento delle terre. Le parti superiori *D*, *D* (tav. III, fig. 22) restano sempre tagliate a picco, lo scoscendimento in *E* si approfonda nel terreno in mezzo alla materia da trasportarsi, il piede *A* vien messo in moto; e così si è obbligati per ultimo risultamento a trasportare una maggior quantità di terreno, e non si ha mai una scarpa solida e regolare come se la si fosse dapprima tagliata in un piano conveniente.

La scarpa che si deve dare al taglio è relativa non solo alla natura del terreno, ma ben anche alla sua posizione, avuto riguardo alla sua altezza. Se si taglia un'alzata di terreno nella sua parte più alta *ABCD* (tav. IV, fig. 20) si può dare maggior inclinazione alla scarpa, perchè non si hanno da temere nè le acque superiori procedenti dalle pioggie, nè le sorgenti: ma se si taglia la montagna sopra uno de'suoi fianchi è d'uopo calcolar bene l'inclinazione e non temere di farla debolissima per mettersi al coperto di accidenti, che più tardi potrebbero interrompere il servizio. Bisogna anche diffidare degli ammassi di terreno esistenti qualche volta nelle parti superiori delle grandi aperture, i quali sotto un'inclinazione più o meno grande, propendono sempre

a cadere nell'apertura, ed a versarvi le loro acque di pioggie e di sorgenti; perchè l'apertura dei tagli determina spesso alcuni filtramenti d'acque che arrivano a banchi d'argilla e sono in seguito causa di scoscendimenti.

Il clima infine deve essere preso in considerazione, e sotto questo aspetto quello del mezzogiorno è senza comparazione più svantaggioso che quello del nord. Soprattutto nei paesi alti e montuosi del mezzogiorno si devono aspettare più frequenti danneggiamenti perchè si trovano sotto la duplice influenza di climi opposti.

La strada di ferro da Saint-Étienne a Lyon è nella sua parte superiore 500 metri al dissopra del livello del mare: ora è noto che per termine medio una differenza di altezza di 160 metri forma una differenza di 1 grado nella temperatura, che corrisponde ad una distanza di 56 leghe più al nord, nei limiti compresi fra il 30.° e il 60.° grado di latitudine. I lavori hanno dunque a resistere agli inconvenienti che possono risultare da un freddo eguale a quello che si trova a 200 leghe più al nord, nello stesso tempo che soggiacciono ai deterioramenti cagionati dalle pioggie dirotte dagli straripamenti dei torrenti ecc., sì comuni nelle regioni meridionali.

Tutto ciò che ho fin qui detto intorno allo sgombramento dei grandi tagli di terre vegetali od argillose può anche applicarsi alle *podinghe* (o arenarie), ai calcarei, agli schisti, ai graniti, ecc. ed altri terreni appartenenti a qualunque siasi formazione. Le podinghe sono difficili ad estrarsi, ma sono compatte, omogenee, rare volte tagliate da fessure e si sostengono bene. Questa specie di terreno che si sfoglia, e si sfalda all'aria ma in maniera insensibile, si riconosce all'aspetto gibboso delle colline che ne sono formate; desse sono inoltre in quasi tutte le loro parti coperte di vegetazione, perchè non si rinvengono in alcuna parte quei grandi banchi orizzontali o verticali che nei terreni calcarei o granitici venendo corrosi e minati al loro piede dalle acque, si staccano in frammenti e lasciano nude grandi superficie tagliate nel senso della cristallizzazione.

Così fatti terreni sono piuttosto favorevoli ai tagli ed

ai fori, ma il leggero strato di terra vegetale di cui sono ricoperti quasi egualmente dappertutto rende le sostituzioni difficili e costose. Effettivamente non presentando essi alcuno di quegli accidenti che favoriscono l'accumulazione di una quantità considerevole di terra vegetale, si è ridotti per impiegare i mezzi meccanici di trasporto, ad entrare nelle podinghe vive, locchè aumenta di molto le spese della mano d'opera. È dunque saggio partito il prendere questa circostanza in considerazione nel tracciamento delle linee, ed attenersi piuttosto agli sgombri di terra che alle colmate, rigettando la linea un po' più all'erta di quello si sarebbe fatto in terreni di più facile cavatura.

Le roccie meno solide che ho incontrato appartenevano a graniti e schisti primitivi isolati e nudi da tutte le parti, che nel loro stato naturale si presentavano ammucchiati a scaglioni quasi a picco gli uni sopra gli altri. A me sembrava che dovessero sostenersi bene anche in trinciera, ma ho sempre riconosciuto che il minimo sconcerto nell'equilibrio di questa massa cagiona tali movimenti che ben tosto non si possono più dominare. Queste roccie sono ordinariamente tagliate da vene argillose, qualche volta impercettibili, nelle quali l'acqua s'insinua pelle minime fessure che vi si formano. La massa si smuove allora con lentezza e regolarità e si opera uno spostamento che non si può per alcun verso impedire.

I terreni tormentati e le roccie scoscese hanno il vantaggio di offrire numerosi anfratti, nei quali si sono riunite grandi masse di terre ordinariamente argillose, e qualche volta miste di avanzi di roccie. Riesce assai comodo il trar profitto di tali accumulazioni facili ad estraersi e a trasportarsi. Queste terre coperte in seguito coi rottami di roccie sui quali quasi sempre riposano, formano eccellenti terrapieni e una strada sempre asciutta, di facile manutenzione, soprattutto quando si ha cura di evitare che non si frammischino terre argillose o vegetali negli strati che ne formano la superficie.

Allorchè si tratta di aprire considerevoli tagli attraverso a grandi masse di roccie, si devono raddoppiare

le cure e l'attenzione, perchè vi è maggiore incertezza in quanto alla solidità che potranno avere le scarpe o le pareti. Bisogna in tal caso consultare la natura delle specie, i loro piani di cristallizzazione; assicurarsi se sono intersecate da vene argillose, e se le loro fessure sono umettate da qualche sorgente che faciliti lo sdrucciolamento degli strati gli uni sopra gli altri. Vi sono specie che si sfogliano all'aria, ma non mi sono mai accorto che ne risultassero grandi inconvenienti. Siffatta alterazione non penetra ordinariamente a grandi profondità perchè i primi strati scomposti formano un coperchio sopra gli altri. Se ne stacca solamente ogni anno la grossezza di alcuni centimetri al tempo dello sgelo; ma si richieggono circostanze affatto particolari perchè ne derivino sfranamenti maggiori di 2 o 3 metri, e spetta in seguito ai cantonieri incaricati della manutenzione della linea, lo sgomberarla da quei frantumi. Simili terreni sono d'altronde sempre inclinati a coprirsi di vegetazione, locchè contribuisce a guarentire dall'azione dell'aria gli strati sottoposti.

Allorchè le podinghe sono solcate dai banchi orizzontali di *grès*, ne deriva una guarentigia maggiore alla solidità delle pareti del taglio, e si può senza inconveniente, secondo la circostanza, modellare la scarpa da 2 a 5 parti di base sopra 10 di altezza.

S'incontrano qualche volta in questi tagli banchi più teneri che minacciano di sfogliarsi rapidamente, e di lasciare esposti strati troppo poco compatti per sostenersi da loro medesimi: ciò accade soprattutto nei punti al dissopra dei quali hanno esistito strade, serbatoi d'acque, ecc. In simili circostanze ho ottenuto i migliori risultamenti rinforzando le parti deboli con muri della grossezza di $0^{m},30$ a $0^{m},50$ nella stessa linea del resto della parete, ed appoggiati d'ogni parte contro i più sani della trinciera. Vi sono diversi grandi tagli nella strada di ferro di Saint-Étienne le cui pareti sostenute in questa guisa, non si sono minimamente smosse da 10 anni in poi.

È indispensabile che la compagnia sia proprietaria di una porzione di terreno al disopra dei grandi tagli,

in tutta la loro estensione, e per una larghezza di 2, o di 3 metri e più se occorre. Questo spazio è destinato a praticare un fosso per lo scolo delle acque, che deve essere mantenuto colla maggior cura: poichè si scorge che qualunque piccolo filo d'acqua che scorresse a uno spazio di 12, 15 o 20 metri sopra un piano tanto inclinato, basterebbe a corrodere il terreno, ad ingombrare il fosso inferiore e la via, a cagionare scoscendimenti, e dietro ciò a produrre inevitabili sinistri. La compagnia deve anche acquistare, soprattutto quando sono di poco valore, tutti i terreni superiori ai tagli, quando v'è gran probabilità di scoscendimenti. Perchè, sia per malevolenza, per ignoranza, o per bisogno reale, il proprietario padrone del suo può fare quei lavori che crederà, senza inquietarsi se possano correre il rischio d'essere distrutti dal fatto delle opere che la compagnia fece eseguire: e quando sopraggiugne un accidente che lo priva del suo terreno, delle sue costruzioni, ecc., v'è poco da sperare che gli arbitri prendano in considerazione, ed accreditino alla compagnia l'aumento del valore della proprietà in causa della nuova comunicazione.

Il fosso dei grandi tagli obbliga, principalmente nella parte costeggiante l'altura, ad un enorme trasporto di materie, dovendo la sua larghezza e profondità essere tanto più grandi quanto più alte sono le pareti del taglio. Gioverebbe che il livello inferiore del fosso fosse sempre più basso che il disotto dei dadi per evitare gli inconvenienti risultanti dal soggiorno delle acque in tutte le parti che possono essere scosse dal movimento della strada. Ma nei tagli di grande estensione è difficile ottenere questo intento, e vi si supplisce abbastanza efficacemente scavando al dissopra della via meno tormentata dal movimento dei trasporti, un canale che si copre con lastre di pietra. Questo canale od acquedotto serve a raccogliere tutte le acque d'infiltrazione, le quali senza ciò potrebbero insinuarsi fra i dadi. Il fosso porge allora un libero scolo alle acque pluviali e v'è ogni facilità per togliere, a misura del bisogno, i depositi che potessero formare.

Vi sono dei terreni suscettibili gli uni più degli altri

di assorbire e conservare l'umidità, i quali nelle stagioni di pioggia si sciolgono, si trasformano in fango e scolano a piedi della scarpa. Quando questo caso si presenta, è necessario di disporre gli scolatoj dando loro uscite abbastanza profonde perchè la pressione che esercitano basti a farle filtrare a traverso il terreno. Questo metodo mi è sempre ben riescito.

Ha fatto scavare nella stagione secca un fosso *AB* (tav. III, fig. 22) di tre metri di profondità appiedi del terrapieno. Ho fatto riempire tutto lo spazio *BC* di pietre collocate a mano, e ricoperte da *C* in *A* di terra argillosa affinchè l'acqua del fosso, scolando sopra questo letto, non potesse deporre le materie terree da lei trasportate nell'interstizio dell'ammasso di pietre, chiamati nel paese col nome di *pierelle*. Questo espediente basta a disseccare compiutamente le trinciere, ed a lasciare agli alberi e alla vegetazione il tempo di rivestirla, locchè ha risanato e consolidato per sempre il terreno.

Si può anche, per mantenere il piede delle trinciere, situare da distanza in distanza verso i punti dove si teme che si manifesti qualche movimento nella roccia, pietre quadrate come *AB* (tav. III, fig. 23), solide, ben sane che poggiano da una parte contro la roccia e dall'altra contro la banchetta formando una specie di ponticello sul fosso. Questa disposizione ha anche il vantaggio di proteggere la banchetta *AC*, la quale deve esser meglio protetta che la via *CD*, perchè gli orli delle ruote tendono a mantenere quest'ultima appoggiandosi contro le spranghe, ed oppongono un ostacolo insormontabile al loro avvicinamento, mentre una moltitutudine di cause tende a spingerle fuori della strada e ad allargarle.

### III. Dei terrapieni.

Si deve per quanto è possibile combinar le cose in modo che i terrapieni si formino colle materie procedenti dai tagli e dagli sgombramenti; lo che però non è sempre facile il conseguire. Bisognerebbe che si potesse sempre prevedere e decidere se un tal punto si avrà

ad attraversare con uno sterrato, o con un foro; e si sa che l'esecuzione fa spesse volte riconoscere la necessità di modificare i progetti. Ora poichè la massa delle materie da levarsi varia considerabilmente, secondo che s'impiega l'uno o l'altro di questi due mezzi, così è chiaro che un mutamento di decisione porta seco una variazione analoga nella quantità dei terreni da spostare, e può anche obbligare a modificare l'andamento della linea. Vi sono anche altre circostanze in cui il tempo manca per utilizzare le materie smosse; così è, per esempio, quando il loro trasporto richiederebbe l'occupazione d'una certa parte della linea di cui fosse fortuitamente ritardato il compimento. Bisogna allora gettare le materie fuori della via e sostituirne altre per supplire all'uso cui si erano destinate.

Le strade, il cui piede è esposto ad essere attaccato o bagnato dalle piene di un fiume, devono essere accuratamente munite di palizzate della dimensione resa necessaria dal regime del corso d'acqua di cui si hanno a temere gli attacchi. Tali strade alla prima loro immersione risentono tutto l'assodamento di cui sono suscettibili, e da quel punto si può riguardare la loro posizione come fissata invariabilmente per l'avvenire. Il fiume stesso provede ordinariamente alla loro solidità deponendo una certa quantità di limo che favorisce ed attiva la vegetazione. È cosa essenziale il munire il piede del terrapieno di piante ed arbusti che lo sostengano e lo guarentiscano dalle invasioni del fiume, ma si deve evitare di lasciar crescere alberi che mantenghino l'umidità sulla strada e ne facilitino la degradazione.

Nelle regioni del mezzo giorno soggette ad abbondanti pioggie bisogna adottare alcune precauzioni per evitare che le acque si riuniscano in quantità bastevole a corrodere l'argine nel punto in cui vengono a sboccare sulla cresta della scarpa. A questo effetto giova praticare fra i due cuscinetti, nel mezzo di ciascuna spranga, un picciolo canaletto che getti l'acqua sulla scarpa nel medesimo tempo che l'allontana dal dado sul quale si uniscono le due spranghe.

Si sogliono sempre impiegare sbarre di legno per as-

settare le spranghe provvisorie sulle quali si eseguiscono i terrapieni. Allorquando l'altezza del terrapieno è regolare, e che non sorpassa i quattro o cinque metri, giova qualche volta appostare all'estremità due panconi di cinque a sei metri che sorpassano il punto a cui si è arrivati e che posano su ponticelli. Lo scarico riesce più facile e si conserva più agevolmente la posizione delle spranghe. Quando la cubatura dei terrapieni ammonta a trenta o quaranta metri per ogni metro di lungo, basta far avanzare ogni giorno questa specie di palchi da 2 a 3 metri perchè vi si possa deporre il prodotto giornaliero di un taglio ben condotto. Ogni volta che si può far scelta per alzare le colmate fra materie scavate di natura differente, bisogna, senza omettere di considerare il prezzo di estrazione e di trasporto, non perder di vista che la cosa più importante si è l'ottenere i migliori terrapieni possibili.

I terreni sabbiosi misti di ciottoli sono preferibili a tutti gli altri: le terre arabili che contengono avanzi di vegetabili, s'ammucchiano lungo tempo in modo ineguale e devono essere assolutamente rigettate. Vi è d'altronde tanto miglior ragione di farlo perciocchè le stesse vengono sempre ricercate dai proprietarj, i quali il più delle volte le trasportano a loro spesa per migliorare i proprii poderi.

I terreni schistosi e *carbonici* che sono soggetti a sfogliarsi formano terrapieni che s'ammonticchiano per lungo tempo, si oppongono allo scolo delle acque, si mescolano alle ghiajate e si sciolgono in fango, tutte cose che nuocono singolarmente al buono stato e alla manutenzione della via. Le terre argillose presentano inconvenienti analoghi; bisogna quindi astenersi dall'impiegarle nella parte superiore delle colmate. I dadi fanno sempre un picciol moto nel momento del passaggio dei convogli, ed allorchè, per una causa qualunque, il terreno è umido, la pressione che esercitano aspira e rigetta alternativamente il fango che li circonda. Questo moto, favorito dalla elasticità delle spranghe, fa sì che i dadi facciano la funzione di una specie di stantuffo che tritura e scioglie tutte le materie sopra le quali

batte e contro le quali si sfrega. Di tal fatta la liquefazione si dilata, la disorganizzazione della commessura delle spranghe non tarda ad esserne la conseguenza. Allora sopraggiungono sinistri, dei quali il più frequente si è la deviazione del convoglio, ed allorquando la celerità è considerevole, sopra tutto nei piani inclinati nei quali la gravità che tien luogo di motore non cessa mai di agire, accade qualche volta che le macchine e le vetture dopo aver rotto i cuscinetti, escano dalle spranghe e s'avviino verso la scarpa del terrapieno, in fondo al quale cadono, provando grandi avarie.

Per prevenire questi incontri si allarga la strada nei passi pericolosi, e sopra tutto allorquando la direzione nella quale le curve sono frequentate porta al vuoto; la si allarga in modo da poter stabilire in ogni parte una specie di arginetto *EFGH* (tav. III, fig. 23) di un metro circa di altezza, che oppone un riparo alla caduta del convoglio. Questo provvedimento è stato adottato su molti punti della strada di Manchester.

Il prezzo a cui possono ascendere gli sgombramenti e le colmate non può soggettarsi ad alcuna regola; vi son troppe circostanze che lo fan variare perchè si possa stabilire alcun confronto con ciò che emerse in un caso diverso dal contingente.

Quando si devono far eseguir lavori in luoghi poveri di mezzi e di popolazione, il prezzo della mano d'opera cresce in proporzione dello sconcerto che si reca alle abitudini locali, ed aumenta tanto più quanto più sollecitamente si desidera di organizzare il lavoro. È difficile il far eseguire a cottimo lavori che non sono conosciuti, perchè gli operai sono generalmente troppo poco istruiti e troppo indolenti per scoprire da sè stessi i metodi atti ad arrecare nella loro nuova occupazione quella economia alla quale è essenziale di restringersi. Questo scopo non si può raggiungere che alla lunga; bisogna che la riforma si operi gradatamente. Conviene lasciare ai lavoratori il tempo di perdere ad una ad una quelle rozze abitudini che si conservano per secoli in quei paesi dove non si è mai presentata un'occasione di farne scorgere tutti i vizj e di eccitare l'intelligenza delle classi manifattrici al perfezionamento dei mezzi.

I lavori devono pertanto essere cominciati per economia: questo è la vera scuola di ogni buona intrapresa. Il capo invigila, ordina, insegna dapprima; può in seguito agire con più certezza quando concede appalti parziali, quando tratta a fattura od impone agli intraprenditori di far lavorare a cottimo.

Non è stato fatto finora, per quanto io mi sappia, alcun tentativo seguito da avverato buon esito, di sostituire il vapore alla forza umana per asportare le terre o le roccie in gran massa. Tuttavia, se ci faremo a considerare l'enorme differenza che v'è generalmente nelle opere eseguite piuttosto con l'uno che coll'altro di questi due mezzi, la facilità colla quale si potrebbe valersi del movimento delle macchine locomotive per praticare nella roccia gallerie di un gran diametro e di una grande profondità, per levare e trasportare a grandi distanze masse considerevoli di materie, bisogna convincersi che si arriverà un giorno a fare simili lavori con maggior economia e celerità.

Ecco un conto dello speso, nell'esecuzione di diversi lavori di sgombramenti, pelle strade di ferro di Saint-Étienne.

| | |
|---|---|
| A Saint-Étienne: un taglio praticato a due pareti in schisti mescolati di banchi orizzontali di un *grès* carbonifero, pel quale fu necessaria poca polvere: 22,000 metri cubici trasportati a 500 metri di distanza ridotta, salendo un'erta di 0,008 hanno costato per metro cubico . . . . . . . . . | 2f. 30c |
| La terra vegetale sopra un solido di 0m,25 a 0m,30, o la terra forte in grandi falde, per l'estrazione, carico e trasporto a 60 metri . . . . . . . | 0 60 |
| Il *grès* carbonifero per estrazione, carico e utensili, comprendendovi 0chil.,25 di polvere, per ogni metro cubico . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 2 50 |
| Le podinghe (arenarie) dure, per le medesime spese senza polvere . . . . . . . . . . . . . . . | 1 80 |
| Sulle sponde del Rodano: un taglio di 6,200 m nel granito rosso durissimo ma frastagliato da vene di cristalizzazione ben distinta, ha costato pella estrazione e carico . . . . . . . . . . . . | 3 73 |

Presso Givors: un taglio di 6 ad 8 metri di altezza, al quale si è lavorato giorno e notte per tre anni, forando da 100 a 120 metri per termine medio al giorno; i lavori furono eseguiti per economia: 95,646 metri scavati in una sabbia mista di ciottoli e trasportati a 860 metri ridotti:

| | | |
|---|---|---|
| Per estrazione, earico e trasporto... | o^f 96^c | 1 02 |
| Somministrazione di traverse e carri, deterioramento e manutenzione di questi utensili ........... | o o6 | |

Il trasporto delle terre ha costato, per stazioni di 100 metri per distanza di 600 a 1,000 metri:

| | |
|---|---|
| Montando sopra un'erta di 0,014 ...... | 0,048 |
| In terreno orizzontale .............. | 0,040 |
| Discendendo per una pendenza di 0,014 ... | 0,023 |
| Idem, per distanze di 1,500 a 2,000 metri. . | 0,016 |

## IV. Delle gallerie.

Esistevano, pochi anni sono, sì pochi sotterranei forati attraverso delle montagne per il passaggio dei canali, strade, ecc., che venivano allora citati come una specie di meraviglia; ma dopo che si è riconosciuta la necessità di tracciare le strade di ferro in lunghe linee rette od in curve d'immenso raggio, gli ingegneri hanno dovuto accostumarsi a considerare la foratura di una montagna come uno dei casi più ordinarj che possono presentarsi nei lavori che fanno eseguire.

La strada di ferro di Saint-Étienne a Lyon ha reso necessarie 15 gallerie, benchè vi si sieno tracciate curve del raggio di 500 metri; si può giudicare da questo esempio di ciò che avverrà quando si dovranno costruire grandi linee la cui direzione generale sarà obbligata a lievi pendenze ed a curve di raggi molto più estesi.

Quando hanno una certa lunghezza, è indispensabile scavar de' pozzi nella loro direzione per accelerare l'apertura delle gallerie. Basta del resto il dare a quei pozzi sufficiente solidità per resistere durante il tempo presentaneo dei lavori, non che le dimensioni strettamente necessarie per permettere di far discendere e risalire gli operai,

di estrarre le materie e d'introdurre nei fori i legnami e tutti i materiali che si avranno ad impiegare.

Quando il terreno è solido, quando la profondità dei pozzi non deve essere grande, per esempio di 20 a 30 metri, e quando la durata dei lavori non deve eccedere un anno o due, basta dare ai pozzi 2 metri di diametro. La spesa per scavare, o come si dice in termine di mestiere, per sfondare un pozzo, è relativa alla profondità che deve avere e alla quantità d'acqua somministrata dal terreno. Se questa quantità non ascende al di là di 2 ettolitri, allora un pozzo di 30 metri di profondità scavato negli schisti, nel *grès* o altri terreni che coprono la formazione dei carboni fossili, costa, tutto compreso, 60f. per metro di lungo. Ma tal sorta di terreni va soggetta a sfogliarsi all'aria e v'è bisogno di sostenerli, sia con tavolati, sia con un rivestimento di muro il cui prezzo non è compreso nel calcolo precedente. Questa spesa non può mai essere preveduta con sufficiente certezza per farla entrare nel prezzo dell'appalto. La somministrazione del legname e delle pietre resta quindi ordinariamente a carico della compagnia.

A misura che i minatori discendono, e seguendo la natura del terreno, mettono di distanza in distanza puntelli di legno da 15 a 20 centimetri di quadratura, e di 6 a 8 di grossezza, i cui capi s'infiggono nelle pareti dei pozzi, si tagliano a mezzo legno in modo che presentino una superficie eguale e stiano allineati, ordine per ordine, nel senso orizzontale. A tal uopo s'impiega di preferenza il legno di pino o di quercia procedenti da piante giovani, squadrate colla scure. Queste travi barbacanano la roccia da ogni parte e rattengono il terreno, e gli impediscono di spingersi nel vuoto. Se il terreno è soggetto a sfogliarsi, si riveste intieramente l'intervallo che passa fra le travi con un tavolato che forma un riparo completo, e guarentisce dagli scoscendimenti. Si comprendono ordinariamente, nel prezzo stabilito coll'intraprenditore, anche tutte le spese necessarie per mettere in opera questo legname, perchè si fa una specie di compensazione fra le roccie dure le quali richiedono poco impiego di legname, ma il cui scavo è difficile, e

le roccie tenere che si tagliano facilmente, ma che vogliono essere sostenute con molto legname.

Allorchè il tavolato interno è stato fatto accuratamente, e che il terreno non lascia più temere scoscendimenti, si può far uso dei pozzi così rivestiti e risparmiare il rivestimento in pietra. Ma bisogna che la durata dei lavori non ecceda due o tre anni; altrimenti le riparazioni continue che si avrebbero a fare al legname sconcerterebbero troppo il servizio.

Il rivestimento si fa con pietre di cava poste in opera all'ingrosso, e tagliate secondo la forma del pozzo. Hanno costato a Saint-Étienne, poste sul luogo, 6 fran. per metro quadrato, 2 fran. per metterle in opera e 50 cent. di calcina; in tutto fran. 8, 50.

Quando i pozzi non sono più profondi di 20 a 30 metri, non v'è bisogno di stabilire un argano a' cavalli per far risalire i materiali; e dacchè è sempre necessario che siavi qualcuno ad aria aperta, vale a dire al disopra del pozzo per comunicare coi minatori dell'interno, si mette un arganello a braccia, col mezzo del quale l'operajo che è al dissopra, ajutato da un secondo, fa il servizio degli uomini, asporta i materiali procedenti dallo scavo, e fa discendere nei pozzi tutto quanto è necessario.

Se la profondità dei pozzi è considerevole, e se sono destinati ad un servizio attivo e di lunga durata, conviene portare la loro dimensione a $2^m,30$. Lo scavo di tai pozzi ad una profondità di 80 metri, compresa la polvere e gli utensili senza però comprendervi altra somministrazione, costa 75 fr. per metro di fuga.

Allora è assolutamente necessario lo stabilire un grand'argano coperto di assi con una capanna per ricevere gli aperai, i quali nella maggior parte del tempo tornano in su tutto bagnati, ed hanno bisogno d'un buon fuoco per non restar assiderati nell'inverno.

Un grand'argano di 15 a 20 metri di diametro costa da 2 a 3,000 fr. secondo il prezzo dei legni. Quando il lavoro è attivo e quando le gallerie si fanno lungi dall'abitato giova aggiugnere una scuderia, una officina ed un piccolo alloggio per un soprastante. Durante gli

vertice della volta le acque che talvolta si trovano nello scavare i pozzi, ed al fine pure di non ismovere il terreno al dissopra del foro, e di rendere così più solidi i muri. Tal espediènte giova pur anco a diminuire durante i lavori la possibilità dei sinistri che potrebbero accadere se precipitasse nella galleria una secchia piena di materiali o qualunque altro oggetto caduto dalla sommità del pozzo. V'è però lo svantaggio di un servizio molto più difficile, dovendo girare i carri nella picciola galleria sopra curve assai corte conducendo le secchie sotto il pozzo, ed essendo pure assai difficile introdurvi travi d'una certa lunghezza; per ultimo un tal metodo rende troppo complicate le operazioni grafiche tendenti a tracciare, od a verificare la direzione della foratura. Ciò non di meno è forza il praticare i pozzi laterali, quando le forature sono larghissime e quando il terreno è di cattiva qualità, perocchè sarebbe cosa troppo imprudente il far gravitare tutto quell'enorme peso sopra archi di grande apertura qualunque fosse la solidità della loro costruzione. Dal canto mio ho praticato l'uno e l'altro mezzo nello scavare forature di 5 metri di larghezza, nè mi è mai sopraggiunto alcun accidente di tanta importanza che mi consigliasse a rinunciare all'uso di alcuno dei pozzi scavati sulla sommità della volta. Tuttavia, quando la natura dei terreni è incerta, sopra tutto nelle regioni di carbon fossile, vuol prudenza che si scavino i pozzi all'uno dei lati: e ciò ancora più quando le gallerie hanno ad oltrepassare i 6 metri, dovendosi allora operare uno scavo largo 8 metri affinchè contenga anche i muri di rivestimento.

Alla foratura di Terre-Noire, un pozzo che doveva esser profondo 84 metri, praticato sul vertice della volta, presentò per lo spazio di 60 metri circa, banchi di *grès* alternati con schisti e strati di carbone, locchè dava le migliori speranze intorno alla sua solidità ed intorno alla fermezza del terreno in cui doveva essere forata la galleria: ma a tale profondità, vale a dire 20 metri prima di arrivare al suolo della galleria, incontrammo schisti decomposti e talmente molli che il minatore colla sola forza della mano v'immergeva il palo ad un metro

di profondità. Il lavoro divenne ad un tratto difficile e pericoloso, fu d'uopo sospendere agli strati superiori, mediante lunghi travi, tavolati disposti per conservare il pozzo, giacchè il terreno inferiore, ben lungi dal poter sostenere alcuna cosa, aveva bisogno di essere sostenuto, ed era necessario l'adoperare con ogni diligenza onde non restassero interstizj dietro il rivestimento.

Attraverso tutte quelle difficoltà fu raggiunto il limite del suolo della galleria, e furono costrutte due volticciuole ad ellissi intiere con pietre di taglio, scavando successivamente il posto di ciascuna pietra ed empiendo immediatamente dopo gli interstizj vuoti con materiali resistenti.

Finito siffatto lavoro, furon poste quattro forti travi verticali appoggiate al suolo reso più compatto che si potè, e furono aperti i pozzi sulle sommità degli archi e sui pilastri di legno. Le pietre furon dapprima schiacciate dalla spinta insensibile delle masse poste in movimento tutto all'intorno e fu d'uopo sostituirne altre per ben tre volte. Ma dopo tal movimento la montagna restò diversamente situata ed in modo relativo all'equilibrio delle masse che si erano diversamente posate, nè sopravvenne più altro accidente duranti tre anni nei quali il pozzo rimase aperto.

Quando le forature devono essere fatte in terreni granitici compatti, frastagliati da vene di quarzo, od attraverso di banchi calcarei a strati ben distinti, o di banchi di *grès*, o di qualunque altra roccia dura e ben coerente, è lecito lo scegliere qualunque mezzo si voglia perchè non si hanno a temere sinistri.

Del resto quando si manifesta qualche movimento che alteri l'equilibrio generale dei terreni, non bisogna scoraggiarsi, immaginandosi che sì fatto movimento abbia ad essere continuo ed invincibile. Lo spostamento delle grandi masse si opera sempre con estrema lentezza, e basta un po' di pratica a prevederne i progressi, ed a calcolare con meravigliosa esattezza il tempo di cui si può disporre a recarvi conveniente rimedio. Sarà quindi quasi sempre agevole, adoperando con calma e con coraggio, il trovar modo di preservar quei lavori, la salvezza dei quali non si sarebbe a primo aspetto sperata.

I pozzi devono essere approfondati 4 metri almeno al disotto del livello della foratura affinchè formino una specie di serbatojo in cui cadano e si serbino le acque da estrarsi poscia quando s'interrompe il lavoro. Tal parte del pozzo *FG* (tav. V, fig. 24) che chiamasi *puisard* deve essere accuratamente rivestita di pietra, e quando non se ne estrae l'acqua la si ricopre con un assito in modo che il servizio può essere continuato come se non esistesse.

D'ordinario non conviene il fare i pozzi per aprire le forature poco estese, sopra tutto quando si tratta di attraversare la cresta di una collina i cui versanti siano molti scoscesi e quando i pozzi dovrebbono avere una profondità del terzo o del quarto della lunghezza della galleria: giova meglio allora l'intraprendere il lavoro dalle due estremità e continuarlo più energicamente che si potrà giacchè tal metodo è più pronto, più facile e più economico per lo sgombro e trasporto dei materiali. Tuttavia quando si è pressati dal tempo e quando occorre di smovere grandi masse di terra o di roccia, sia alzando sia abbassando il livello prima di entrare nella galleria, bisogna per necessità praticare i pozzi onde operare lo sgombramento in molti punti. Tutto ciò è materia di calcolo di tempo e di denaro, e l'ingegnere deve risolvere il problema a norma delle condizioni in cui si trova.

Il momento in cui convenga d'incominciare la foratura, vale a dire il punto in cui il taglio aperto costerebbe di più che la galleria, deve essere fissato in ciascun caso particolare a seconda della natura del terreno. Se il punto nel quale deve praticarsi l'ingresso del sotterraneo è ingombrato da terre delle quali siasi riservato l'uso per fare dei terrapieni, si prolunga qualche volta il taglio fino ad un'altezza di 20 a 25 metri, locchè rappresenta un cubo solido di 5 a 600 metri per ogni metro di lunghezza, e costa d'ordinario più che una galleria della medesima estensione.

V'hanno terre forti ed argillose le quali compresse ed indurite dal peso degli strati superiori, si forano con facilità: in tal caso la maggior difficoltà consiste nel

proseguire il taglio tanto verticalmente che si possano gettare i primi archi della volta senza scoscendimenti. A tale effetto conviene, quando si è fissata l'entrata, costruire due muri a guisa d'ala, prolungati più che si possa nel terreno per mezzo di due picciole gallerie laterali. Quando l'opera è giunta ad una distanza in cui l'altezza del terreno sia eguale a quella della volta, si fa prestamente uno scavo di alcuni metri e si gettano rapidamente alcuni archi fatti con pietre esattamente tagliate, e combaciantisi, il qual lavoro deve essere compito speditamente. Immediatamente dopo si puntella da tutte le parti la terra contro la volta con muraglie di pietre da scavo. Operando con prontezza, può in seguito essere continuato il lavoro senza timore di sinistri.

Per poco che il foro sia largo si dà mano alla muratura dei piè dritti per via di picciole gallerie laterali, e si sgombra il terreno a misura che son poste le chiavi di ciascun intervallo di 2, 3 e anche di 4 metri costrutti ad un solo tratto.

Nei terreni più ingrati, quando cioè le terre son umide, venose, scorrenti, le difficoltà s'accrescono di molto. Il legnajuolo non può allora abbandonare un sol momento il minatore, perchè ad ogni colpo di piccone bisogna sostenere il lavoro con puntelli di legno ben ritti o di $0^{m},15$ fino a $0^{m},20$ di diametro. Tosto che lo scavo è sufficientemente esteso si devono alla presta edificare le definitive opere di muro destinate a sostenere il terreno. Quando le terre non sono scorrenti non si mettono così tosto in movimento: ed allora basta il minimo sforzo per contenere masse enormi. È questo il momento in cui giova scegliere il partito che meglio convenga, ma è d'uopo decidersi prontamente per non lasciar tempo al terreno di cedere. A tale effetto il lavoro deve intraprendersi a picciole porzioni, e deve essere attentamente invigilato affinchè su tutti i punti l'intervallo esistente fra il terreno ed i muri sia esattamente empito. È pur anco necessario puntellare da ogni parte l'interno delle gallerie, tosto che sono sgombrate, con travi poste attraverso per tutta la lunghezza del foro, poichè al minimo moto si formano fessure per le quali introduconsi le acque con pericolo dei lavori.

Se le forature hanno ad essere aperte nella sabbia si procede in diversa guisa. Sulla ripa del Rodano ho incontrato un terreno di tal natura; procede da recenti alluvioni del fiume il cui letto essendosi sucessivamente abbassato ha lasciato a diverse altezze ammassi di sabbia e di ciottoli alternati da banchi orizzontali di podinghe durissime, i quali impediscono le filtrazioni delle acque e mantengono gli strati inferiori costantemente asciutti. Quei banchi sono prodotti dalla coincidenza delle grandi piene del Rodano e della Senna nelle quali le sabbie e i ciottoli trasportati dal primo, sonosi frammischiati e furono ricoperti dal limo della seconda; e si è così formato un vero cemento dell'apparenza e qualità di una calcina durissima, dimodochè gli abitanti delle sponde credono che siano avanzi di antiche costruzioni. La fermezza e la solidità di quei banchi fa sì che sostengano assai bene le ghiaje e quanto è desiderevole d'incontrarli nelle forature, altrettanto è molesto il trovarli nei tagli.

La sabbia secca e scorrente non s'incontra d'ordinario all'entrata dei fori: è anzi caso raro che presso la superficie del suolo la vegetazione e l'umidità non la rendano abbastanza consistente da potervi aprire piccioli tagli e da poter fondare alcuni archi in pietra come ho detto dissopra. Ma quando si arriva alle parti preservate dalla umidità mercè i banchi di podinghe, il minimo intervallo che si lasci fra i tavolati basta a produrre una caduta di sabbie anologa a quella delle clessidre. Ciò è accaduto al foro delle Mulatière uscendo da Lione, ed ha posto due volte i lavori in pericolo: l'appaltatore dell'opera si vide forzato rinunciarvi e venne a lui sostituito un abile minatore che condusse felicemente l'opera a termine con coraggio, attività ed intelligenza.

Impiegò egli a questo effetto una specie di scudo di legno *AA* (tav. V, fig. 26) simile a quello immaginato dal sig. Brunel per scavare il *tunnel* sotto il Tamigi. Quest'apparato era composto di quadrati mobili I, I, I di $1^m,50$ d'altezza e $0^m,60$ di larghezza, esattamente lavorati, e congiunti fra loro d'ogni parte. I quadrati venivano posti contro le diverse porzioni di terreno da

levarsi. Di fronte allo scudo furon poste, nel senso della lunghezza del foro, due lunghe e forti travi di legno *B, B* sostenute dalle traverse *C, C* infisse nelle pareti murate *D, D* formanti il rivestimento della parte già terminata della foratura. Queì legnami servivano d'appoggio ai puntelli di legno *E, E* che irradiavano in tutti i sensi per sostenere i quadrati. Tosto che era riuscito di chiudere una porzione della volta, si sbarazzavano le travi longitudinali di tutti i legnami da quelle sostenuti, e si facevano progredire per la lunghezza della parte di lavoro eseguita; con tal metodo si riuscì a far sì che lo scudo s'inoltrasse gradatamente finchè durò la difficoltà. Si ebbe cura di puntellare ciascuno dei compartimenti contro le armature che occupavano tutto l'interno del foro, non lasciando altro intervallo che quello strettamente necessario agli uomini per passarvi a levare le materie e portare i legnami necessarj ai lavori.

Puntelli, piè dritti, traverse e pali di ferro furono distribuiti a profusione e con discernimento, e vennero disposti in tutte le parti ove si temeva qualche movimento di terra. Di questa guisa ebbimo la fortuna di forare, con più o meno difficoltà, 200 metri di terreno senza movimento sensibile alla superficie, e senza perdere un sol uomo, finchè poscia s'incontrò il granito.

Importava tanto più che il terreno fosse sostenuto da che il punto più difficile da superare si trovava precisamente al disotto della strada maestra che conduce da Saint-Étienne a Lione, la qual strada è la più frequentata da pesanti carrettoni, e da che tutte le case e le costruzioni laterali sarebbero state compromesse da qualunque accidente alquanto grave.

Le forature negli schisti carboniferi, in cui anche a grandi distanze stanno coperti gli avanzi di opere antiche, sono assai pericolose. I lavori vengono in quei luoghi sconcertati dai movimenti sofferti dal terreno, per cui vanno soggetti ad essere tagliati da fessure e riempiti d'acqua in tutti gli scavi. Tale era la condizione di una parte della montagna di Terre-Noire, cui fu d'uopo forare per 1,500 metri onde condurvi la strada di Saint-Étienne.

Gli schisti hanno generalmente il grave inconveniente di sfogliarsi all'aria, e perciò bisogna fare il rivestimento, e costruire le volte tosto che si è forato uno spazio di 3, o di 4 metri al più. Quando il terreno potè essere sostenuto in modo da non smoversi durante lo scavo, e quando l'opera di muro ha potuto essere terminata prima che sia nato alcun accidente, in modo che a capo di 8, o di 10 giorni siasi potuto perfezionare il lavoro di 2, o di 3 metri, allora v'è luogo a presumere che la galleria non si sformerà: ma a questo fine è necessario assolutamente che sia appoggiata da ogni parte contro la roccia, locchè a grande stento può ottenersi se accade il minimo scoscendimento sul vertice della volta durante lo scavo.

Gli scoscendimenti dalla sommità sono di grave pericolo e non è mai troppa la diligenza nel sostenere il terreno. Se una scossa qualunque mette le roccie in moto, le commettiture tendono ad aprirsi, i legnami vengono schiacciati, e percorrendo in silenzio le gallerie si sentono scricchiolare ad ogni istante, e sorge la necessità di sostituirne altri medianti nuovi scavi che alla lor volta favoriscono e producono nuovi accidenti. In tali perigliose circostanze è mestieri adoperare materiali forti e durevoli, e bisogna circoscrivere i lavori nei più stretti limiti, intraprendendo poco alla volta e terminando prontamente. Per aver trascurata questa precauzione, e per essermi affidato imprudentemente ad un operajo che era in grido di aver acquistata in Germania una grande esperienza nei lavori sotterranei, ho perduto a Terre-Noire una galleria di 15 metri, nella quale era accaduto uno scoscendimento che si sperava di poter sgombrare e di poter guernire intieramente di legnami prima d'introdurvi i muratori. Volevasi con ciò schivare d'inceppare i lavori, agglomerando troppi operaj in uno spazio ristretto. Ma l'accidente sopravvenuto fu sì grave che dovetti rinunciare alla speranza di rimediarvi e dovetti portar l'asse della foratura a 15 metri di distanza, adottando una nuova rete di 3 curve da 300 metri di raggio onde evitare quel luogo. Malgrado tale distanza, essendosi dovuto riempire il vano della prima galleria, il moto delle roccie vicine si comunicò dall'una all'altra, e 5

o 6 anni dopo fu scoperto che le opere di muro del foro, precisamente dirimpetto al luogo dell'accidente, inclinavano da quella parte. Fu necessario allora rifarle tutte per ridurle alla linea. Tuttavia tai difetti sono più spiacevoli all'occhio che seriamente nocevoli alla solidità dei lavori.

È difficile, come è detto, l'evitare gli scoscendimenti al vertice nelle terre mobili: le opere in legno il più delle volte li sostengono, ma lasciano spazii che con tal mezzo non si ponno guarentire. Quando poi più tardi sembra che la volta sia consolidata, e quando si tagliano e si levano i puntelli della parete, i terreni addossandosi ai muri li spingono a quella parte ove è minor resistenza, e così, vanno cedendo finchè trovino un appoggio sul quale rimettersi in equilibrio. In simili casi ho veduto la volta sollevarsi di $0^m,50$ e i lati abbassarsi in proporzione. Ma se così fatti accidenti sono pericolosi mentre i lavori han posto in moto il terreno da tutte le parti, le riparazioni non presentano poi assolutamente alcun rischio; in capo ad alcuni anni la coesione della calcina è tale che si possono impunemente levare grandi pezzi di muro, tagliare la roccia, e rinnovare il rivestimento. Di questa guisa furono riparati tutti i guasti della galleria di Terre-Noire, senza che sia mai stato interrotto il servizio.

I lavori delle mine, quando sono assai più profonde delle forature, cagionano pur essi tali movimenti che le deformano, senza però rompere la continuità delle opere di muro, e senza produrvi fessure. La piegatura si opera con lentezza e regolarità. La foratura di Rive-de-Giers, la cui lunghezza è di 1,000 metri, e che avea piegato per tal causa di $1^m,20$ in uno spazio di 300 metri, venne ristabilita senza che la solidità di quella sia stata compromessa.

Le forature che traversano costruzioni, o che passano a picciola distanza al dissotto delle abitazioni, richiedono precauzioni di un diverso genere. Ma atteso che ciò sta nella sfera dei lavori ordinarii, e che si tratta solamente di sottomurare, non mi fermerò a descrivere metodi conosciuti, e comunemente usati, intorno ai quali d'altronde si possono trovare insegnamenti in tutti i libri dell'arte.

Avviene talvolta che non si possa dare una certa profondità al taglio nell'ingresso o nell'uscita del foro, sia perchè ciò arrecherebbe danni troppo considerevoli alla superficie, sia per qualunque altra causa: è necessario allora entrare in galleria tostochè i tagli son giunti all'altezza corrispondente al vertice della vôlta. In simil caso si comincia il foro a cielo aperto. A tal effetto si scavano due picciole fosse corrispondenti ai piè dritti della volta e si sbarrano con piccioli puntelli come nei fondamenti ordinarii: giunti al principio della volta si leva prontamente il terreno del mezzo, si sostituiscono ai piccioli puntelli travi di tutta la larghezza del foro, si taglia il terreno nella forma della volta onde faccia l'officio di centinatura, e tosto che l'opera di muro è fatta la si ricopre colla terra messa provvisoriamente in deposito sui fianchi o al di dietro del taglio.

Tal metodo ha l'inconveniente di non poter essere posto in uso che nella bella stagione, perchè duranti le pioggie ed i geli, i tagli corrono il rischio degli scoscendimenti con pericolo degli uomini e dei lavori: e perciò si deve aver cura, quando s'avvicina il tempo delle pioggie e dei gran geli, di non intraprender tagli più lunghi dello spazio che si possa ridurre a galleria.

Ho impiegato con buon successo tal maniera di esecuzione per una lunghezza di 120 metri all'entrata bassa del foro di Terre-Noire, finchè ho raggiunta una profondità di 12 metri dalla soglia del foro al livello del terreno, così ho potuto far compire a tutt'agio le opere di muro, e far cementare esattamente il dissopra della volta con calcina idraulica, onde impedire le infiltrazioni che non si possono evitare quando si sta in mezzo a tanti accidenti, o quando è d'uopo mettere in opera le pietre le une dopo le altre appena che si è preparato il vacuo in cui devono essere collocate; perchè tali pietre posando allora sopra il legname, le roccie e i rottami non lasciano alcun intervallo per farvi scorrere l'intonacatura.

Talvolta giova spingere avanti ai lavori una picciola galleria di esplorazione, che serve ad asciugare il terreno, a mettere i pozzi in comunicazione fra loro, dar aria agli

operai e ad assicurarsi delle direzioni. Questo metodo ha i suoi vantaggi ed i suoi inconvenienti. Se il terreno è scorrevole, la piccola galleria contribuisce a smoverlo ed aumenta la probabilità dei sinistri: il servigio che vi si deve fare imbarazza e complica il servizio generale: in fine, se è posta al basso, è difficile sbarazzarla dall'acqua che vi affluisce da tutte le parti dei lavori. Le acque che scorrono dalle gallerie forate in salita cadono naturalmente nello smaltitojo, ma quelle del basso, essendo avviate dalla pendenza del terreno in direzione opposta tendono ad inondare, dalla parte bassa, il fondo della galleria.

Quando la pendenza della strada di ferro è poca, basta scavare un canale tanto profondo presso lo smaltitojo da permettere lo scolo delle acque dal punto di comunicazione colla parte più alta dei lavori vicini. Ma se la pendenza è considerevole, e se le gallerie devono essere ben lunghe, v'è a temere che la profondità, necessaria a tal canale, disponga il terreno a smoversi, per cui il moto, comunicandosi da ogni parte ai terreni adiacenti e vicini, sformi i piè dritti delle muraglie e faccia crollare i lavori. Conviene allora situare sopra un lato della galleria un condotto di legno che abbia una pendenza in senso contrario a quella del foro: questo condotto riceve le acque che i minatori estraggono con secchie, e vi gettano entro. Se la quantità dell'acque lo esige, appositi operai gettan l'acqua in questo canale che la porta nello smaltitojo. L'acqua delle gallerie di Terre-Noire, dalla parte bassa, fu sempre estratta in questo modo, malgrado la pendenza considerevole del foro che rendeva necessario alzar l'acqua $1^{m},50$ per ogni 100 metri di lunghezza.

Quando, dopo grandi tagli in salita, s'intraprendono le forature, le acque cagionano grande inquietudine perchè sono tanto più abbondanti quanto è più prossima la superficie dei terreni: bisogna allora estrarla con trombe e grandi argani a cavalli.

Nello spazio di due anni quando non sopraggiunge alcun grave accidente si possono aprire con un pozzo due gallerie, l'una in salita e l'altra in discesa, ciascuna

di 200 metri; ma è meglio scavare i pozzi a minor distanza. La gran lunghezza della galleria rende difficile il servizio, e favorisce la formazione o lo sviluppo dei gas deleterii che viziano l'aria oppure, infiammandosi, producono esplosioni pericolose per la sicurezza ed anche per la vita degli operai.

Quando i lavori sono bene organizzati, quando il terreno fu bene studiato, e quando si hanno operai intelligenti e pratici del mestiere, si possono fare fino a 10 metri di lungo di galleria al mese: ma non si può calcolare con certezza che sopra 5 metri, locchè per medio termine dà 120 metri di lunghezza all'anno per ogni pozzo. Infatti sopravvengono sempre varie picciole cause di ritardo, considerate come semplici accidenti da potersi evitare in avvenire, ma che in realtà sono inerenti alla natura del lavoro.

Non potendosi mai interrompere i lavori delle forature, non è da sperare che vi sia sufficiente numero di superiori abili e prudenti per tenerne uno costantemente a ciascun pozzo. Gli impiegati principali non potendo visitare i cantieri se non col discendere nei pozzi e penetrare in mezzo ai frantumi ed ai legnami con un certo pericolo di vita, si astengono più che possono dalle visite; quando le fanno sono sorpresi dal passaggio subitaneo dalla gran luce all'oscurità, e non vedono distintamente gli oggetti se non dopo un certo tempo: la maggior parte della loro attenzione è rivolta alle precauzioni necessarie per la loro sicurezza non essendo a ciò avvezzi, ed infine sentono d'ordinario troppo presto il bisogno di ritirarsi, perchè possano esaminare minutamente tutte le particolarità. Perciò gli operai sono spesso abbandonati alla propria loro discrezione; e senza cambiarne la natura, non si può mai calcolare che eviteranno per la seconda volta quei falli in cui sono già caduti.

Quando sopraggiunge qualche accidente straordinario, che dia a temere che abbia ad essere ritardato il compimento e la consegna del foro, non si deve esitare ad aprire altri pozzi nei punti più favorevoli, sia per rimediare all'accidente, sia per moltiplicare i cantieri, per

andar incontro alle gallerie cominciate, per asciugare i lavori, ecc. Gli operai propendono sempre a palliare la gravità degli accidenti, facendo sperare che non avranno conseguenza o non saranno di lunga durata: anche l'ingegnere è sempre disposto a così pensare, e ne risulta spesso che si trascurano nel momento opportuno quelle disposizioni che più tardi divengono insufficienti.

Occorre il tempo di 3 a 6 mesi, e la spesa di 6 a 12,000 fr. per iscavare e mettere in istato servibile un pozzo di 60 ad 80 metri. Dacchè i primi metri costano sempre meno degli altri, non v'è confronto di convenienza fra l'esporsi ad un ritardo od arrischiare picciola somma; è quindi cosa prudente al primo manifestarsi di un serio pericolo il cominciare ad aprire un nuovo pozzo che, a farla finita, si abbandona poscia ove non occorra.

Se l'aria manca nelle gallerie, ed anche nello scavare i pozzi, bisogna provvedervi artificialmente. Il miglior metodo consiste nel mettere due punti in comunicazione coll'aria aperta: vi è allora la sicurezza che si stabilirà una corrente d'aria da potersi dirigere ad arbitrio qualunque sia l'estensione delle gallerie. Quando non si può far così, mettesi all'uno dei lati del pozzo certa specie di guaine *IK* (tav. V, fig. 25) fatte di assi e disposte in modo da non impedire il servizio delle secchie. Si mettono in comunicazione con casse di legno di $0^m,25$ a $0^m,30$ di lato, fatte di 4 assi esattamente combaciati che si prolungano fino al punto ove l'aria è viziata: si determina in seguito un'aspirazione artificiale per mezzo di grandi mantici, o di un ventilatore a forza centrifuga, mosso, secondo il bisogno, dagli uomini o dai cavalli: o semplicemente si fa in modo che la guaina alimenti un forno che produca da sè medesimo una forte aspirazione. Quest'ultimo metodo è quasi sempre posto in uso nei paesi di miniere ove si calcola per nulla il valore del combustibile consumato.

Sono d'opinione che si possano anche aprire buchi a trivella, come si pratica per i pozzi artesiani; ma siffatta operazione essendo poco conosciuta nei paesi in cui ho fatto eseguire i lavori, ed essendo andato a male

un primo ed unico tentativo, vi ho rinunciato. D'altronde la cosa non era di tanta importanza che avessi a darmi la briga di ammaestrare impiegati ed operai in un lavoro di esito incerto.

I pozzi devono essere generalmente tanto più vicini l'uno all'altro quanto più stringente è il tempo concesso alla foratura, quanto più questa dev' essere profonda, quanto più è difficile il terreno. Secondo il signor Sganzin (1), la durezza delle roccie cresce come il cubo della specifica loro gravità, e sono tanto più solide e compatte quanto più penetrano nel seno della terra; tal regola però non è senza eccezione, e i terreni a carbon fossile presentano frequentemente esempii contrarj.

I fori nelle roccie dure non offrono alcuna difficoltà, e tutto si riduce ad una semplice quistione di tempo. Si suole situare due officine, una al dissopra dell'altra, composte ciascuna di 4 a 6 minatori, ed anche di più, secondo l'estensione del foro. La prima officina che si chiama l'*avanzata*, è sempre da cinque a sei metri più innanzi della seconda, alla quale gli operai danno il nome di *ripresa*, o *strauss*. Si possono così fare da 10 a 15 metri di galleria per mese; e il costo, quando non vi son pozzi, varia da 7 a 10 fr. al metro cubico nei graniti ordinarj.

V'è poco a temere degli accidenti, che non sono quasi mai gravi negli schisti e nei *grès* carboniferi. Se accade qualche incontro, procede dagli strati che separano i banchi gli uni dagli altri, cui gli operai chiamano *vene taglienti*. Quando la direzione dei diversi piani fa presumere che abbiano a riunirsi in un sul punto nell'interno delle roccie, al dissopra dei vertici del foro, si può prevedere che in quella parte nascerà uno scoscendimento, e si deve levare, o come dicono i minatori *purgare* tutto ciò che minaccia. Quelle parti della roccia si chiamano *campane* o *berrette*; i minatori battendole col martello conoscono dal suono che rendono se siano proclivi a staccarsi: allorchè eglino sono esperti, predicono anche con meravigliosa esattezza, e molti giorni prima, il tempo, in cui si staccheranno e dove lo sco-

(1) *Trattato delle costruzioni*, di Sganzin.

scendimento avrà luogo. Se i timori sono leggeri, e se si vogliono evitare troppo grandi scavi, si praticano soltanto delle fessure nella roccia più viva e vi si fanno entrare a forza puntelli di quercia che le sbarrano e le sostengono, consolidando le parti che appajono vacillanti.

Scavando le forature, come avviene generalmente in tutti i lavori sotterranei, gli operai possono trovarsi tutto ad un tratto rinchiusi nel fondo delle gallerie dagli scoscendimenti, e vi restano esposti a perire, sia per mancanza d'aria e di nutrimento, sia per l'accumulazione delle acque, sopra tutto quando, come avviene ordinariamente, lo scoscendimento fu prodotto da quelle. In sì sgraziate circostanze non è mai troppo lo zelo, l'attività e la perseveranza per liberare le sfortunate vittime da tale catastrofe. L'esperienza ha insegnato che non bisogna mai scoraggiarsi, e che spesso è riuscito di salvarli dopo averne quasi disperato. La proprietà dei corpi densi di trasmettere facilmente il suono serve meravigliosamente per istabilire a grandi distanze comunicazioni che divengono ben presto una specie di linguaggio col quale si può almeno assicurarsi se i soccorsi arriveranno in tempo utile, e si può anche riconoscere la direzione e la via più breve che si ha da prendere. Del resto, quando si tratta della salvezza degli uomini, la voce dell'umanità è abbastanza eloquente, ed ogni ulteriore raccomandazione sarebbe superflua.

È quasi sempre necessario di rivestire di muri le forature, e ciò può farsi, ad arbitrio, con mattoni ossia con pietre semplici o tagliate. Per quanto la roccia sia dura, v'è sempre probabilità, se si lascia a nudo, che se ne stacchino de' frammenti con pericolo di coloro che frequentano la via. Non v'è maggior ragione di temere un tale accidente, che di temere che uno squarcio di roccia, staccandosi dalla scarpa di una trincera, venga a rotolare sulla via: e ciò non di meno si dà a quest'ultimo pericolo molto maggior pensiero. Però, atteso che effettivamente vi son sempre alcune parti in pericolo, ed atteso che il costo di un rivestimento, quando il terreno è solido, non è molto considerevole, si suol sempre rivestire il foro per intiero.

S'intende agevolmente che in tal caso anche un muro sottile può bastare, e perciò il si fa di mattoni perchè anche è più facile il metterli in opera, perchè il lavoro si termina più presto, e perchè le gallerie restano meno ingombre.

D'ordinario si fan venire dal Belgio gli operaj che fanno i mattoni, i quali per fare, com'essi dicono, la loro campagna, si stabiliscono in primavera nel luogo più vicino al punto in cui i mattoni devono essere posti in opera, e dove si trovi terra argillosa atta a fabbricarli. Assumono in sè il lavoro, che vien loro pagato a seconda della quantità dei mattoni posti in opera. Eccone il costo nei contorni di Saint-Étienne e di Rive-de-Giers per ogni migliaja, della forma di $0^m,25$ di lunghezza, $0^m,125$ di larghezza, e $0^m,083$ di grossezza.

| | |
|---|---|
| Tre metri cubici di terra, indennizazzione, scavo e trasporto | $3^f$ $»^c$ |
| Fattura e cottura dei mattoni | 11 40 |
| Carbon fossile | 3 » |
| Spesa media del trasporto | 8 » |
| | 25 40 |

Il costo medio di un metro cubico di muro fatto in mattoni, contenente 360 mattoni posti in opera nel rivestimento del foro, è risultato come segue:

| | |
|---|---|
| 360 mattoni a 25, e 40 | $9^f$ $14^c$ |
| Calcina | 3 20 |
| Fattura, tutto compreso | 7 50 |
| Avarie e spese perdute | » 16 |
| | 20 » |

Locchè fa ammontare il costo di un metro in lungo delle gallerie ordinarie da 120 a 150 fr., secondo la dimensione, la distanza del luogo della fabbricazione dei mattoni, ecc.

Il costo di un metro cubico di muro fatto con pie-

tre da cava grossolanamente squadrate col martello, è stato di 13 fr. quando il servizio si faceva passando per le gallerie, di 18 fr. per i pozzi, e di 26 fr. quando il lavoro esigeva maggior cura.

A tal costo bisogna aggiungere quello degli archi d'accompagnamento in pietra tagliata che si costruiscono di distanza in distanza, e che si fanno tanto più vicini, e qualche volta contigui gli uni agli altri, a misura che la poca solidità del terreno od altri accidenti il richiedono. Siffatti archi sono di $0^{m},50$ fino ad un metro, e costano più o meno secondo il valore delle pietre da taglio.

Oltre le pietre da taglio impiegate per gli archi, giova stabilire sul suolo una prima fondazione, che serve di base ai muri od agli archi.

Vi sono certe roccie, soprattutto nei terreni carboniferi che tendono costantemente al vuoto. Se si mancasse di premunirsi contro tale disposizione, facendo la volta tanto al dissotto del foro come al dissopra, i piè dritti della volta si ravvicinerebbero nella parte inferiore, il suolo del foro si rialzerebbe, e le opere di muro andrebbero a disunirsi ed a crollare. Per prevenire tai movimenti vien necessario il fare un'opera di muro tutta ad arco che possa resistere da ogni parte alla spinta della roccia o delle terre, all'un di presso come resisterebbe una botte vuota alla spinta dell'acqua in cui fosse immersa; locchè ha fatto dare dagli Inglesi a tal costruzione il nome di *tunnel*.

Per tal maniera di arcatura è d'uopo studiare una forma che nello stesso tempo sia la più atta a resistere alla spinta del terreno, ed a porgere comodo passaggio. La volta di Terre-Noire è formata di tre porzioni di arco di cerchio *TY* (tav. V, fig. 24) di 5 metri di raggio, *YZ* $1^{m},50$ e di *TU* di 2 metri: i due angoli *T*, *U* sono formati da una fila di dadi o di pietre tagliate secondo la linea che corrisponde alla riunione delle due curve il cui raggio è rispettivamente *XT*, *VT*. Lo scolo dell'acqua ha luogo fra la curva *TU* e la corda *TU*, formata dalle traverse sulle quali son poste le spranghe, la qual corda è fortemente puntellata contro i dadi *T*, *U* che servono a mantenere la distanza delle pareti del foro.

Essendo il più delle volte pressati nei lavori delle forature, giova l'appaltarli a prezzi fatti, però sempre in picciole porzioni, perchè le previdenze sono d'ordinario troppo incerte onde poter fare aggiudicazioni in massa e perchè non è prudente cosa il lasciare agl'intraprenditori la probabilità di troppo arricchirsi, nè quella di rovinarsi. Vi sarebbe poi anche da temere che nel caso in cui gli accidenti o le difficoltà superassero di molto ciò che si fosse preveduto, gli appaltatori cercassero compenso alle loro perdite, sia trascurando il lavoro, traendolo a bella posta in lungo, per mettere la compagnia nella necessità di sciogliere il contratto o di accordar loro tali indenizzazioni che togliessero alla compagnia il vantaggio del cottimo, facendola soggiacere a tutte le eventualità sfavorevoli del contratto. Ho imparato per esperienza che in Francia le leggi non consentono che si operi in un dato tempo la rovina di un uomo, il quale in forza di contratti svantaggiosi di lunga durata, ha sgraziatamente assunto impegni inevitabilmente funesti. Perciò io non volli nel 1827 appaltare per 500,000 fr. ad un intraprenditore solvibile di Saint-Étienne la foratura di Terre-Noire che ha costato 1,058,900 fr. di prima costruzione, e più tardi, 138,900 fr. di lavori accessorj di emendazioni o riparazioni. Il motivo del mio rifiuto fu il timore che l'opera venisse ritardata e che si suscitassero liti le quali sarebbero state più dannose alla compagnia che la perdita dei guadagni incerti derivabili dall'esecuzione di tal contratto.

V'è pur anco un grave inconveniente nel fare eseguire i lavori a prezzi fatti. La difficoltà della vigilanza permette agli operai cui vengono affidati, d'ingannare senza stento i superiori e gli agenti, e ho anche veduto quando non potevano riuscire ad eludere la loro vigilanza, impiegar contr'essi le minaccie, oppure, mentre discendevano o salivano per le loro visite, lasciar cadere dall'alto dei pozzi di gran massi per fare loro comprendere, sotto il pretesto di un accidente, che nulla sarebbe più facile quanto il fare impunemente contro essi una terribile vendetta, se non cessassero di adempire con buona coscienza quella rischiosa parte delle loro funzioni.

Ecco il costo di alcuni lavori eseguiti in foratura alla strada di ferro di Saint-Étienne:

Il levare un metro cubico di roccia nelle podinghe duri, che si sostengono senza volta, ha costato 7f 50c
Nei graniti, o negli schisti frammischiati a banchi di quarzo, da . . . . . . . . . . . . 8 fr. 50 a 9 50
La cima della volta di 3 metri di larghezza sopra tre metri di altezza, appaltata separatamente dallo *strauss* o *ripresa* . . . . . . . . . . . . . . . . 12 —
Lo *strauss* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 6
Il *grès* carbonifero durissimo e solidissimo . . . 13 50

La differenza di costo tra la roccia dura e quella tenera ed anche fra le terre scorrenti, come le sabbie del foro di Lione, non è molto considerevole, perchè i soliti accidenti ed i legnami impiegati a profusione per sostenere i cattivi terreni, compensano la difficoltà di scavare le roccie dure e compatte, come anche i danni di deteriorazione e manutenzione degli utensili.

S'impiega anche nelle forature una grande quantità di polvere pel bisogno di far saltare mine poco profonde ma in gran numero. Nelle roccie dure se ne consuma fino a 0ch.,80 per ogni metro cubico.

Del resto, tutto compensato, quando non vi sono gravi accidenti, il metro in lungo di foratura non costa molto. Si può considerare che quando ha da esservi una sola via, la quale richiede gallerie di 3m,30 di larghezza e di 5 metri di altezza, eseguendo i fori mediante pozzi di 40 a 100 metri di profondità, costerebbero ad un dipresso.

Per estrazione delle roccie compreso il posto per le volte . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 290
Rivestimento di muro . . . . . . . . . . . . . . . 120
Legname secondo la difficoltà del lavoro per termine medio, senza comprendervi i grandi accidenti . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 40
Servizio interno, sgombramento e trasporto dei rottami . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 50

| | |
|---|---|
| Pozzi . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 60 |
| Pietre da taglio . . . . . . . . . . . . . . . . . | 40 |
| | 600 |

È impossibile lo stabilire alcun dato intorno ai grandi accidenti: a Rive-de-Giers sopra mille metri di estensione hanno costato da 20 a 40,000 fr. ed a Terre-Noire sopra 1,500 metri, da 2 a 300,000 fr.

V. Della direzione nelle forature.

Quando ho parlato del disegno della linea, non ho potuto indicare i mezzi che a me sembrano i più semplici ed i più atti ad evitare gli errori di direzione quando s'aprono le forature. Prima di affrontare siffatta quistione, era d'uopo conoscere la disposizione dei pozzi e delle gallerie, nel di cui interno si eseguiscono tali operazioni.

Le persone poco versate nelle quistioni geodetiche propendono generalmente a considerare come cosa difficile il trasportare le direzioni della superficie ad una grande profondità nell'interno della terra, ed il cominciare ad un tratto in un buon numero di punti i lavori che devono incontrarsi gli uni cogli altri, con una perfetta coincidenza. Ma coloro che sono pratici dei lavori sotterranei, non iscorgono altra differenza fra il disegno d'una linea interna, e quello di una alla superficie, se non la necessità di impiegarvi un poco più od un poco meno di tempo. Tuttavia, atteso che gli errori di direzione nelle forature non si emendano se non con molta difficoltà e grave spesa, ed atteso che non isfuggono all'occhio meno esercitato, soprattutto quando sono in linea retta, mentre si possono far scomparire appena conosciuti i leggeri errori commessi nelle linee esterne, è cosa prudente e convenevole l'affidare tal parte di lavori sotterranei ad impiegati diligenti ed esperimentati.

Il tracciamento delle forature deve essere fissato alla superficie con molta maggior cura di quella che vuolsi per tutto il resto della linea. Si hanno a piantare i pali di distanza in distanza in posizioni fisse e guarentite

da qualunque variazione; se v'è a temere che il terreno per effetto degli scavi sotterranei e delle mine, o per qualunque altra causa faccia qualche movimento, bisogna fare e rifare più volte le operazioni medianti le quali si possa emendare il disegno.

Quando la direzione è ben fissata all'esterno, la si trasporta per via de' pozzi all'interno, mediante fili a piombo, e si ricomincia nella galleria un'operazione analoga a quella che fu eseguita ad aria aperta. Giova per questo servirsi di fili metallici perchè possano portare anche, essendo più sottili, pesi considerevoli: d'ordinario si scelgono di rame per evitare l'ossidazione, e l'influenza del magnetismo terrestre. Si rivolgono sovra un picciolo cilindro assicurato ad un legno solidamente fissato al disopra del pozzo, in un punto in cui si possa facilmente allinearsi da lontano. Si attaccano all'estremità di questi fili pesi di piombo da 1 a 2 chilogrammi equivalenti al terzo od al quarto di ciò che può portare il filo; e dopo essersi assicurati colla vista che i due fili sono esattamente nella direzione della linea, o della tangente della curva sulla quale dev'essere tracciata la foratura, si svolgono i cilindri e si fanno immergere i piombi in secchie di legno piene d'acqua.

Se il pozzo è scavato sul vertice della volta e nell'asse della foratura, si danno direttamente le direzioni all'interno per mezzo di lampade a stoppino picciolo e ben tondo, e vengon poste nelle parti più sane del vertice della volta uncini di ferro ai quali si sospendono i piombi che guidano i minatori a conservare la loro direzione.

Quando il pozzo è laterale alla foratura, l'operazione diviene complicata per la necessità che v'è di cambiar due volte la direzione nell'interno della galleria. Per evitare questa duplice operazione un mio impiegato assai intelligente aveva immaginato di formare un quadro in legno *ABCD* (tav. V, fig. 24) solidamente stabilito, ed in maniera che fosse possibile mediante tacche praticate su pezzi di rame, il far combinare esattamente i punti *A* e *C* coi fili a piombo. Questo quadro era inoltre abbastanza grande da potere situare in *D* e *B* punte fi-

nissime colle quali prendere la direzione *BX* del foro all'esterno con tutta la precisione desiderabile. Dopo aver ben verificata l'aggiustatezza dell'apparato, il si fa discendere nel pozzo con precauzione, e appostandolo nella galleria *EFGH* nella medesima situazione in cui si trovava al di fuori, avuto riguardo alla posizione dei fili, si trova immediatamente per mezzo dei punti *BD* la direzione *DX*.

Nei pozzi di $2^m,30$ di diametro si ponno impiegare quadri di $1^m,50$ di larghezza, sopra 6 ad $8^m$ di lunghezza. Essendovi certezza che situando i punti *AC* contro i fili non si potrà errare di un mezzo millimetro, tale errore corrisponderà a 3/1000 della lunghezza sulla quale si opera; ossia a $0^m,033$ sopra 100 metri, quantità insensibile, e compresa nel limite degli errori facili ad incorrersi in qualunque operazione, nella quale non si adoperino istromenti muniti di lenti.

Si pongono i piombi nell'acqua, perchè si mettono più presto in istato di riposo assoluto, comunicando a quel fluido tutto il moto che si era loro impresso mettendoli a posto, e per sottrarli anche alla influenza delle correnti d'aria, le quali, in così grandi lunghezze, determinano sempre un visibile tentennamento. Giova anche per rendere l'immobilità più completa, intercettare momentaneamente tutte le comunicazioni fra le gallerie, quando i lavori sono abbastanza avanzati da poter fare il servizio per mezzo di più pozzi ad un tratto.

Insisto sulla necessità di verificare spesso codeste operazioni, per quanta precauzione siasi usata per assicurarne la stabilità: perchè ebbi ad osservare che si manifesta qualche volta nel filo a piombo immerso nell'acqua una variazione sensibile, probabilmente procedente da un effetto di elettricità a noi sconosciuto. Del resto la verificazione può farsi anche colla bussola del minatore, prendendo il termine medio di molte osservazioni. Ma un tale processo non mi è mai sembrato opportuno a dare un risultamento così esatto quanto un'operazione grafica, e noi non l'abbiamo mai impiegato se non come mezzo di verificazione.

## VI. Delle opere di muro.

Le opere di muro necessarie allo stabilimento d'una strada di ferro van quasi sempre esposte, come ho già detto, ad essere sopraccaricate di ghiaiate prima che abbiano presa sufficiente consistenza per resistere alla spinta dei terreni. Convien dunque studiare accuratamente tutte le disposizioni le più favorevoli, per evitare che sieno deteriorate prima che la consolidazione della calcina abbia loro data tutta la necessaria consistenza.

Atteso che l'apertura delle strade di ferro necessita d'ordinario lo sgombramento di molte roccie, è qualche volta vantaggioso, soprattutto ove la calce costi molto, il costruire a pietre secche quelle opere che possono esser fatte di tal maniera. Costruzioni simili hanno il vantaggio di presentare immediatamente tutta la resistenza da loro richiesta. Ma però non guadagnano nulla col tempo, e quindi bisogna eseguirle molto accuratamente, e profondervi i materiali per metterle in istato di sopportare ogni futura contingenza. Perciò tal metodo non si dee adottare se non quando si può disporre di una gran quantità di pietre grosse, e di tal cristallizzazione che non dia loro agio di sdrucciolare le une sulle altre. I ripari, o spianati, inclinati a 45 gradi sulle sponde dei fiumi, ed anche dei torrenti rapidi, resistono benissimo alle piene, e riescono perfettamente nel guarantire le dighe dagli attacchi delle acque. Potendosi su tutti i punti che non presentano un prossimo pericolo cominciare ad eseguire i terrapieni, lasciando sguernite le scarpe, e servirsene come di strade provvisorie, si trae da ciò profitto per trasportare i materiali destinati a proteggere i lati del terrapieno, e con ciò si fa una grande economia nel lavoro. Si dà a tali ripari la grossezza di $0^m,50$ a $0^m,70$ secondo la dimensione delle pietre, e il prezzo dell'opera varia da $0^f,50$ a $1^f,00$ per metro quadrato. Torna essenziale l'invigilare gli operai affinchè posino le pietre nel senso della loro lunghezza: bisogna anche che le commettiture siano sempre normalmente dirette alla facciata del riparo, vale a dire,

che siano inclinate di 45° all'orizzonte. Alcune roccie, e principalmente gli schisti, sono naturalmente tagliate in parallelepipedi nei quali una facciata fa l'angolo di 45° e la facciata alternante un angolo di 135°: gli operai approfittano di questo accidente di cristallizzazione, posando orizzontalmente la facciata principale della pietra, perchè così l'altra viene ad essere situata naturalmente nel senso dell'inclinazione del riparo. Gli schisti si decompongono talvolta all'aria, e sono quasi sempre ricoperti di uno strato argilloso, che, come un sapone, tende a farli sdrucciolare gli uni sopra gli altri, locchè pregiudica alla solidità dei ripari, e li rende generalmente poco atti a costruire i muri.

I graniti da cava hanno frequenti angoli e faccie scabre, per cui si collegano bene insieme, e danno ai lavori maggior guarentigia di solidità. D'altronde quella roccia essendo d'ordinario disposta a lasciarsi fendere e tagliare secondo gli angoli della propria cristallizzazione, ed a partirsi sotto il martello in pezzi tagliati ad angoli retti, la si impiega con vantaggio per fare muri solidi e regolari. Allorchè i ripari si appoggiano alla roccia, conviene cominciare a far qualche filare colla calcina: nel caso contrario vi si supplisce con palificate alle quali si dà la dimensione indicata dal regime del torrente.

Se le condizioni del disegno conducono la linea in luoghi discosti dall'abitato e privi di quelle comunicazioni che sarebbero necessarie per condurvi i materiali, ne risultano grandi variazioni nel costo delle opere di muro. Nella strada di ferro di Saint-Étienne il costo ha variato da 6 fr. a 14 per ogni metro cubico, secondo la difficoltà degli approcci, e la possibilità d'impiegar pietre procedenti dallo sgombramento dei tagli. È quindi cosa prudente, quando non si abbiano idee perfettamente fisse intorno a tutte le particolarità, e si voglia tuttavia avere un preventivo delle spese, il valutare le opere di muro ad un prezzo superiore a quello che costano nei medesimi luoghi in circostanze comuni, perchè le differenze non possono essere che in più, atteso l'isolamento dei luoghi ove si devono aprire le officine.

Se le opere di muro devono essere caricate mentre

son fresche, giova dar loro maggior grossezza che se si avesse avuto il tempo di lasciar loro prender consistenza. La calce idraulica è allora preziosissima per la prontezza colla quale s'induriscono i cementi in cui entra: perciò non si deve esitare nel preferirla alle calci grasse, benchè vi sia gran differenza nel prezzo, soprattutto nei muri destinati a rivestire i fori: dessa è anche del tutto indispensabile se si ha qualche timore intorno alla solidità delle roccie. Tutte codeste precauzioni, come anche quella di riservare alle acque scoli numerosi e facili per mezzo di fessure lasciate nei muri, devono soprattutto essere praticate al sopravvenire dell'inverno, e nella stagione in cui si aspettano le pioggie. Bisogna talvolta, sia per sostenere le terre che caricano i muri, sia per tenersi ad una data distanza da certi punti, edificare muri di certa altezza, e caricarli di rottami che s'innalzano in pendio al dissopra di quelli. In questo caso la pressione esercitata dalle terre contro i muri è sempre superiore ai risultamenti calcolati: tutte le volte in cui mi son trovato in tale circostanza, le spinte hanno fatto perdere la scarpa delle muraglie, e le hanno talvolta anche rovesciate.

Così fatti accidenti, che si sono più volte reiterati in modo più o meno grave, mi hanno obbligato a porre de'tiranti di ferro di 4 centimetri quadrati, assicurati a forti travi profondamente infisse nella ghiaiata, la cui testa superava le pareti del muro di alcuni decimetri. Si facevano entrare forti chiavi al capo della sbarra, e si assicurava il tutto con buoni galletti. Questo mezzo che non è molto costoso mi è sempre ben riuscito. Basta che si possa opporre un freno al primo moto dei muri, perchè il tempo permetta al rottame di assidersi, ed alle calcine d'indurirsi, in guisa che i lavori conserverebbero in seguito la loro stabilità, anche se il ferro distrutto dall'ossidazione non potesse più esercitare alcuno sforzo per mantenere a posto i muri.

Quando v'è a temere che i muri possano perdere per qualche moto il loro appiombo o la loro primitiva direzione è cosa prudente dar ad essi una scarpa considerevole. Coloro che hanno fatto eseguire molti lavori

d'arte, non si sgomentano a siffatti movimenti, perchè sanno che, stando in certi limiti, poco o nulla influiscono sulla solidità e stabilità dell'edificio. Tali deformità si possono per lo più far disparire quando le opere di muro hanno finito di posare; ed i ristauri che si fanno tendono più a far scomparire le irregolarità spiacevoli all'occhio, e a soddisfare l'ingegnere e l'intraprenditore che a far riacquistare ai lavori la stabilità che non avevano perduta.

D'ordinario l'economia è uno dei principali scopi di ogni intrapresa privata, ed è ben raro il caso che non sieno stati imposti limiti alla spesa. Eccettuando alcuni casi nei quali si è riconosciuta la necessità di spiegare un lusso ben inteso, l'ingegnere deve farsi sempre legge d'evitare nei lavori qualunque ricercatezza che ne aumentasse il costo. Ei deve prendere per regola queste due parole: *solidità* ed *economia*: deve farsi distinguere per l'ardimento de'suoi concetti, per la purezza delle forme, per la grazia delle disposizioni, per l'eleganza delle masse, e non per la ricchezza dei particolari, e per il lusso degli ornamenti. Quell'apparato di pretensioni che gioverebbe a far risaltare l'ingegno di un architetto, non servirebbe in questo caso, a parere degli uomini assennati, che a formare la riputazione dei tagliapietre e dei muratori.

Fa mestiere di una perspicacia difficile ad acquistarsi e tuttavia poco apprezzata, per determinare qual grado di solidità abbiasi a dare alle costruzioni, e quali precauzioni abbiansi a prendere per metterle al coperto degli accidenti. È d'uopo prendere in considerazione il calcolo delle probabilità, combinato con quello delle annualità, e questi due ordini di idee sono ancora troppo poco diffusi per isperare che il pubblico vi abbia riguardo nel suo giudizio. Ma egli è evidente che se si dovesse, per esempio, spendere il doppio sopra tutta la linea per dare alle opere d'arte una tal solidità che le mettesse al coperto d'un avvenimento, il quale secondo l'ordine delle probabilità potesse riprodursi ogni 50 anni, e le cui conseguenze oltre la distruzione dei lavori, potessero produrre una perdita eguale al costo primitivo, converrebbe

ancor meglio correre il rischio dell'eventualità, che sprecare un'eccedenza di capitale, il cui interesse sarebbe superiore alla spesa occorrente per riparare sinistri soltanto probabili.

Per chiarire questo punto, supponiamo che la spesa primitiva, calcolata secondo l'andamento ordinario delle cose, ammonti ad un milione, e si presuma che per evitare ogni danno futuro se ne dovessero spendere due. La ricostruzione dei lavori e la perdita cagionata dall'avaria nello sconcertare il servizio ammonterebbe a due milioni. Se si può presumere che tal spesa sarà necessaria ogni 50 anni, è evidente che giunti a questo termine si avrà per farvi fronte il milione che non si è speso, accresciuto dall'interesse accumulato per 50 anni, che rappresenterà un totale di 7,106,500 fr. come si può verificare per via di logaritmi.

In quanto ai lavori d'arte, mi limiterò a queste considerazioni generali, e non mi estenderò alle particolarità che stanno nella sfera delle costruzioni ordinarie. Perchè devo supporre che coloro ai quali il mio libro sarà utile per dirigere come ingegneri o come appaltatori in grande lavori considerevoli, non siano punto stranieri all'arte delle costruzioni, e che abbiano avuto frequenti occasioni di osservare i diversi metodi impiegati dagli ingegneri per l'esecuzione delle strade di ferro, onde poter farne applicazione nei loro calcoli preventivi.

## VII. Della via.

Tutti i saggi e tutte le investigazioni fatte per istabilire la via in modo tanto solido che possa resistere al gran movimento cui essa è destinata, sono rimaste finora senza grande effetto, e la moltiplicità delle disposizioni occasionate dai diversi saggi, non hanno insegnato altra cosa se non che desse sono di poca durata, e non soddisfanno all'aspettazione.

Tal meccanica di stabilità, e il pronto deterioramento della via, e soprattutto delle spranghe si deve attribuire al difetto di coesione nel ferro impiegato, alla poca elasticità del sistema su cui riposa la via, e alla difficoltà

di dare al suo complesso una stabilità che non si combina colla natura dei materiali finora usati.

Gli uomini dell'arte incaricati della manutenzione della linea di strada di ferro in attività, colpiti dalle spese enormi che si dovean fare per mantenerle in buono stato, hanno creduto che sì pronto deterioramento dipendesse dalla dimensione dei materiali, e dal modo con cui sono posti in opera; ed hanno creduto che cambiando il sistema di unione, il peso e la forma delle spranghe, dei dadi, dei cuscinetti, si potrebbe giugnere a ridurre le spese di manutenzione della linea entro tai limiti che non aumenterebbero troppo il prezzo di trasporto. Ma è evidente che fintanto che le compagnie non avranno per guarentigia della bontà dei nuovi sistemi se non l'opinione degli autori di quelli, dovranno considerare tutte le riforme ed i cambiamenti a cui si lasciano indurre come perdite che indefinitamente si possono rinnovare, e che possono aggravare le spese di trasporto senza aumentare in nessuna maniera il capitale.

Quando nel 1825 andai a visitare la strada di ferro da Darlington a Stokton, tutti gli ingegneri civili inglesi erano d'opinione che le spranghe di ferro battuto, la cui invenzione era stata di recente applicata a quella strada, durerebbero almeno 15 anni. In fatto giudicando dalla poca alterazione che aveano subito dopo che erano state poste in attività, si poteva congetturare che se il deterioramento in avvenire fosse per essere proporzionale al passato, la durata di quelle avrebbe anche sorpassato un tal limite.

Però alcuni anni dopo la consegna della strada di ferro di Saint-Étienne, cominciai ad accorgermi che oltre il deterioramento impercettibile del piano e dei lati interni delle spranghe, subivano esse un'altra specie di alterazione che attaccava l'organizzazione interna. Pareva che il ferro perdesse la facoltà di rimanere aderente, e si separasse in fili paralelli alla lunghezza della spranga presentando l'aspetto di una matassa di filamenti di canape.

Ignorando quali fossero le qualità del ferro che potessero dare alle spranghe la durata ragionevolmente de-

siderata, credetti, coi signori Thènard ed Arago, chiamati, il primo dalla compagnia, l'altro dal sig. Wilson incaricato della somministrazione delle spranghe, che bastasse che resistessero senza rompersi alla caduta di un corpo discendente da una certa altezza. In fatto noi consideravamo che lo sforzo prodotto dalla caduta di una vettura o di una macchina il cui asse si fosse rotto, sarebbe la più gran fatica cui potessero essere esposte: ci limitavamo quindi a sottometterle ad una prova di tal specie.

Venne quindi stabilito che le spranghe verrebbero sottomesse a tal prova, impegnate fra due incavi di ferro fuso distanti l'uno dall'altro un *yard* ($0^{m}$,904) vale a dire uniti e ritenuti esattamente nella stessa guisa con cui lo sono per mezzo dei cuscinetti nella strada di ferro, e che sulla porzione della spranga così sostenuta si lascerebbe cadere da $0^{m}$,60 di altezza un peso di 2,253 chil.

Le spranghe resistettero perfettamente a questo urto, e ne risultò soltanto una deflessione permanente di $0^{m}$,11 ed alcune leggiere ammaccature alla parte inferiore. Si convenne allora che la compagnia avrebbe diritto di ripetere questa prova tanto spesso, quanto lo avesse giudicato conveniente, e ciò fu anche eseguito. Il numero delle spranghe che si ruppero fu dapprima poco considerevole. S'impiegava allora a Creuzot molto ferro fuso di Borgogna: il ferro veniva battuto rovente e si passava due volte pello strettojo prima di ricevere l'ultima mano, ed il sig. M. E. Biot, nostro socio incaricato d'invigilare alla fattura delle spranghe, le considerava allora come aventi tutte le desiderevoli qualità. Quando le spranghe aveano piegato si poteva raddrizzarle in ogni senso col martello senza che si rompessero. Anzi io considerava quest'operazione come vantaggiosa poichè battendo a freddo la spranga ne acquistava maggior rigidezza.

Tuttavia verso la fine della consegna alcuni indizj cominciarono a farmi temere che il ferro fosse troppo dolce e filamentoso. Il sig. Filippo Taylor consultato da me su tale oggetto mi confermò in tale opinione, e la compagnia di Creuzot fu da noi autorizzata, mediante

un lieve ribasso di prezzo, a sopprimere una delle battiture, ed a far entrare il ferro fuso in Creuzot in più forte proporzione nella mistura destinata alla fabbricazione delle spranghe.

Ma le nuove spranghe, più facili a rompersi delle prime, rare volte resistevano al cimento: spesso si rompevano raddrizzandole sull'incudine: ciò nondimeno credemmo di osservare che si guastassero men presto delle altre. Pesavano $13^{ch.},50$ per metro di lunghezza, ed avevano esattamente la stessa dimensione di quelle impiegate nella strada di ferro di Darlington. Nel 1834, quand'io tornai in Inghilterra per visitare di nuovo quella strada sulla quale già da 8 anni v'era un movimento analogo a quello della strada di Saint-Étienne, trovai che il maggior numero delle spranghe poste fuori di servizio avevano subìto un deterioramento affatto simile a quello che era accaduto sulla strada di Saint-Étienne.

Siffatta coincidenza mi fece giudicare che il logoramento delle spranghe era indipendente dal modo con cui il ferro veniva lavorato, ma procedeva da altre cause cui bisognava scoprire senza perdita di tempo. L'idea più semplice che si presentasse allo spirito per rimediare al male era quella di aumentare la dimensione delle spranghe o cambiarne la forma, ma le esperienze fatte a tal fine sulle strade di Manchester e di Saint-Étienne non produssero gli aspettati risultamenti. Dopo ciò il signor Stephenson credette che non fosse già la forza, ma bensì l'elasticità che mancasse al sistema delle ruotaje, e che ben lungi dal rimediare al male non si facesse che aggravarlo, aumentando la dimensione dei dadi, ed il peso delle spranghe. La quistione consisteva dunque nell'ottenere che il sistema opponesse minor rigidezza alle scosse ripetute prodotte dal passaggio dei convogli: ora aumentando la massa del sistema si arrivava ad un risultamento diametralmente opposto, che s'avvicinava a quello che si ottiene aumentando il peso di un'incudine per dare più facilmente forma al ferro. L'aggiustatezza di tal raziocinio parve che venisse confermata dal saggio fattosi sulla strada di ferro da Anversa a Brusselles, consistente nello stabilire del tutto

la via sopra traverse di legno. Le spranghe la cui sezione è a un di presso la stessa di quella adottata nel principio dello stabilimento della strada di Manchester, e che pesano 18 chil. ogni metro di lungo, ossia 1/3 soltanto di più di quelle delle strade di Darlington e di Saint-Étienne, hanno resistito egualmente bene come le spranghe pesanti 22 chil. impiegate sopra altre diverse strade di ferro (1).

Se l'esperienza conferma, come tutto conduce a crederlo, che il gran principio di meccanica di evitare la perdita delle forze vive, deve essere più che in qualunque altra materia esteso al sistema delle strade di ferro, si avrà un dato prezioso per regolare su di esso con sicurezza le innovazioni e i perfezionamenti futuri. Si è riconosciuto da gran tempo che al fine di economizzare la forza e di evitare le scosse, giova grandemente l'impiegare corpi elastici; e si sono già fatte alle macchine locomotive ed alle vetture felici applicazioni di questo mezzo di risparmiare la via, sospendendole sopra molle. Pare quindi che prima di tentare altri metodi abbiansi ad esaurire quelle combinazioni, le quali, nello stato attuale dell'arte, presentano le maggiori probabilità di buon esito.

Io m'accorsi, quasi nei primi giorni in cui fu attuata la strada di ferro di Saint-Étienne, che il trasporto sulle traverse di legno era più dolce, men romoroso, e meno faticoso pei viaggiatori che sopra i dadi di pietra, e che sembrava che le spranghe deteriorassero men presto. Rimarcai pure che nei fori ove i dadi di pietra riposano sulla roccia, i guasti della via furono sì pronti e le spranghe vennero sì presto poste fuori di servizio, che si dovettero rialzare i dadi, e praticare al dissotto di essi uno scavo sufficiente per mettervi uno strato di alcuni centimetri di frantumi di pietra.

A Selby si è tentato un altro mezzo, cioè quello di mettere dei pezzi di feltro fra i cuscinetti e i dadi (2).

(1) Vedi l'*Esposizione generale per il disegno delle strade di ferro* del signor Vallée, ingegnere in capo e direttore dei ponti e strade. Parigi 1837, pag. 167.
(2) Vedi *Lezioni sulle strade di ferro*, di Minard. Parigi 1834, pag. 15.

È da sperare che da tutti questi tentativi deriveranno notevoli miglioramenti nel sistema della via: ma non si avrà mai a perdere di vista che non si deve dare alle spranghe dimensioni maggiori del necessario per resistere al moto cui sono esposte. Sarebbe un cattivo calcolo il voler mettere la loro forza in proporzione cogli accidenti che sono possibili in vero, ma che non sono tanto probabili da giustificare un grande aumento di spese.

È noto che il ferro, ed i corpi in generale, quando sono caricati nel senso della loro lunghezza e sostenuti alle estremità, resistono in ragione della larghezza moltiplicata per il quadrato dell'altezza e divisa per la lunghezza. Ciò si spiega facilmente riflettendo che un peso $P$ posto sopra una barra di ferro, esercita sopra di essa uno sforzo che tende a farla rompere in $Ry$. Ora si può sostituire col pensiero alla barra di ferro una leva a gomito inflessibile $Ryx$, attaccata alla sezione della barra $Ry$ con una fila di chiodi $a, b, c, d, e$ distanti gli uni dagli altri, p. e., di un millimetro, e si può anche trasportare col pensiero il peso $P$, in $x$. (tav. V, fig. 27).

Si vede che allorchè lo sforzo del peso $x$, per istaccare i chiodi $a, b, c, d, e$ sarà proporzionale alla distanza $\frac{ya + yb + \text{ecc.}}{xy}$ e atteso che la quantità $ya$, $yb$, ecc., crescono in progressione aritmetica, la somma sarà espressa dalla superficie di un triangolo. Nominando $y$ i suoi lati, $x$ la lunghezza $Xy$, e $c$ la coesione del ferro per ogni millimetro quadrato, si avrà per espressione della resistenza di una lista verticale di ferro di un millimetro di larghezza, di $y$ di altezza e di $x$ di lunghezza $\frac{cy^2}{2x}$, $c$ essendo una costante relativa alla natura del corpo, che dovrà essere determinata dall'esperienza.

Calcolano alcuni fisici che per il ferro lavorato, la quantità $c$ è eguale a $4/3$ della resistenza di quel metallo quando è lavorato per il lungo o perpendicolarmente alla direzione delle sue fibre: moltiplicando l'espressione qui sopra riferita per tal numero e per la

larghezza della bara che chiameremo $z$, l'espressione della resistenza diventerà

$$\frac{2}{3}\, c\, \frac{zy^2}{x}.$$

L'esperienza m'ha determinato a caricare il ferro di 4 a 6 chil. per millimetro quadrato, tutte le volte che veniva impiegato a sostenere uno sforzo continuato, senza essere esposto a scosse o ad altre circostanze che in limiti più o meno estesi, mettessero spesso la sua resistenza alla prova.

Partendo da questo dato, e calcolando sopra spranghe appostate su cuscinetti distanti di 0,90, aventi le dimensioni di quelle della strada di ferro di Saint-Étienne vale a dire un'altezza media di $0^m,072$, e una grosseza media di $0^m,025$, il valore di $R$ essendo eguale a 5 chil., $F$, o la forza delle spranghe sarebbe espressa da

$$F = \frac{2}{3} \times 5 \times \frac{25 \times 72^2}{450} = 690^{\text{chil.}}$$

E questo è a un dipresso il carico di ciascuna delle ruote di una vettura.

Per risolvere il problema di ottenere una via solida poco soggetta a deterioramento, il costo della quale non fosse troppo alto, bisognerebbe trovar modo di combinare una qualità di spranghe forti, elastiche, leggiere, i cui appoggi fossero molto vicini gli uni agli altri, e fossero stabiliti sopra corpi che godessero al più alto grado possibile di tutte le condizioni dell'elasticità. Senza dare troppa importanza ad un' idea che non ho potuto ancora corroborare con alcune esperienze io credo che sarebbe cosa utile il fare una prova di alcuni anni per riconoscere i risultamenti che si potrebbero ottenere sostituendo nella fabbricazione delle spranghe l' acciajo fuso al ferro battuto. Non ignoro che l'alto prezzo di tal materia (1) è un impedimento insormontabile all' impiego attuale di quella nelle strade di ferro: ma chi può prevedere i miracoli dell' industria in avvenire?

(1) L'acciajo fuso si vende da 1,200 a 1,500 fr. la tonnellata.

L'impiego dell'acciajo fuso non è finora tanto esteso da poter sperare che l'industria con arditi tentativi e con grandi spese cerchi di darlo al commercio ad un prezzo molto inferiore dell'attuale. Ma se fosse provato che, tranne il prezzo, soddisfacesse pienamente a tutte le condizioni desiderevoli per il servizio delle strade di ferro, sarebbe possibile che l'immenso smercio sperabile e le conseguenti probabilità di guadagno richiamando su tale oggetto l'attenzione di uomini intraprenditori, conducessero bentosto a qualche scoperta che aggiugnerebbe un nuovo incremento all'industria.

Volendo fare un tal saggio, si potrebbe stabilire una fila di traverse sulle quali si poserebbero dei panconi per il lungo, mettendo negli intervalli un pezzo di cuojo, un feltro gommato o ricoperto di una dissoluzione elastica incorruttibile avente per base il *caoutchouc*, od altra sostanza analoga: si metterebbero sopra quei panconi cuscinetti di ferro fuso incastrati nel legno, sui quali poserebbero coll'intermedio della medesima materia e si terrebbero i cuscinetti abbastanza sollevati da permettere a tutto il sistema del legname di restar sempre e continuamente ricoperto dal terreno.

La distanza dei cuscinetti dovrebbe esser calcolata in modo che il peso da sostenersi dalle spranghe non sorpassasse quello che può essere sopportato dall'acciajo fuso: dovrebbero quindi essere tanto più vicini, quanto più le spranghe fossero deboli. Se un tal saggio riuscisse, io non dubito punto che l'industria troverebbe modo di produrre l'acciajo fuso ad un prezzo tollerabile per un sì enorme consumo.

### VIII. Dei sostegni dei cuscinetti.

I dadi in pietra hanno l'inconveniente di formare una massa che esclude ogni elasticità, e questo inconveniente s'aggrava a misura che se ne aumentano le dimensioni. Il minimo fallo di posizione tende ad allontanare o ad avvicinar le spranghe le une alle altre, a ristringere o allargare la via e a dare alle spranghe un'inclinazione funestissima alla loro durata perchè le

ruote delle macchine e delle vetture, posando allora sugli angoli le deteriorano, e le distruggono più prontamente. Per prevenire, in quanto è possibile, tale effetto conviene impiegar dadi di molta superficie relativamente all'altezza, situare la parte più lunga del dado nel senso della larghezza della via, ed assestare il cuscinetto in un incastro ben liscio affinchè porti esattamente il dado in tutti i suoi punti.

Avviene sovente che i cuscinetti non siano ben adattati ai dadi, perchè i buchi non sono stati forati nella direzione conveniente o di giusta dimensione. Sarebbe a desiderarsi che per scavare nel dado il posto del cuscinetto, e per forare i due buchi nella pietra si potesse far uso di una macchina la cui costruzione permettesse di trasportarla nei diversi luoghi ove si estraggono, e ove si tagliano i dadi. Io aveva inventato a Lione nel 1827 una macchina estremamente semplice della quale avevo fatto alcuni saggi perfettamente riusciti. Consisteva in due viti d'acciajo fuso poste parallelamente l'una all'altra in un quadro, che potevano alzarsi ed abbassarsi per mezzo di un meccanismo particolare col quale si potevano assoggettare ad una pressione sostenuta e graduale. Quelle viti erano mosse circolarmente con un piccolo artificio, e bastavano alcuni istanti per forare il dado con esattezza ed economia.

Ma un gran numero di dadi era già stato consegnato su tutta la lunghezza della linea: si dovette dunque riceverli forati a mano perchè non si potevano obbligare i somministratori a fare quell'operazione col mezzo meccanico e non si poteva per la gran spesa far trasportare i dadi ond'esser forati nell'officina.

Le cavicchie che uniscono i cuscinetti ai dadi devono essere di legno ben secco e ben ritto e di tal dimensione che restino fortemente compresse quando s'infiggono nei buchi dei cuscinetti.

Quando i buchi sono forati a mano v'è sempre gran differenza nei diametri, e le cavicchie essendo irregolari ne può conseguire che gli operaj per negligenza o per ignoranza assicurino i cuscinetti con cavicchie

troppo deboli: io avevo perciò fatto fare una trafila di acciajo fuso all'apertura della quale si metteva ritto un pezzo di quercia tagliata a filo. Battendo un gran colpo di martello su di esso si formavano cavicchie perfettamente cilindriche, al minor prezzo possibile perchè lo stromento permetteva di farle con estrema prontezza e durava tanto da farne un buon numero, locchè riduceva quasi a niente il costo della fattura, e faceva sì che le cavicchie, tutto compreso, non costassero più di 8 franchi al migliajo.

Si deve particolarmente aver cura che i dadi riposino sopra un terreno dappertutto in egual modo resistente. È caso ben raro che sopra una larghezza di 5 metri non si trovi qualche differenza nella fermezza del terreno, e le scosse cagionate dal passaggio dei convogli, facendo allora piegare le parti meno resistenti, la spranga sostiene su questo punto una fatica quattro volte maggiore di quella dei luoghi ova è sostenuta da due appoggi consecutivi, poichè sopra una lunghezza doppia riceve anche due volte più ruote ad un tratto.

Tal considerazione m'ha fatto sempre considerare l'uso delle spranghe ondulate come svantaggioso e senza scopo: perchè è evidente che indebolendo il punto nel quale posano sui dadi, allorchè uno dei dadi piega la parte di spranga che ne era sostenuta diviene incapace di resistere a qualsiasi sforzo. E ciò nondimeno nel 1827 in Inghilterra era sì forte l'abbaglio circa l'uso delle spranghe ondulate, che venivano preferite quantunque la differenza di prezzo fra queste e le spranghe ritte fosse appunto equivalente a tutta l'economia che risultava dal peso della nuova forma; in guisa che, data la stessa lunghezza, le spranghe che in tutta la loro estensione avevano una sezione eguale alla maggiore sezione delle spranghe ondulate non costavano più di queste ultime. Ciò si verifica facilmente facendo il calcolo delle sezioni, e confrontando in seguito i prezzi che a quel tempo mi vennero fissati dalle case di Londra: 13 lire st. per tonnellata di spranghe ondulate e 11 lire st. solamente per le spranghe ritte.

Le spranghe eguali in tutta la lunghezza, oltrecchè

resistono meglio quando un dado piega, possono anche essere sostenute nei luoghi ove la fatica è maggiore, da quanti dadi o traversi si vogliono.

Fu talvolta proposto di stabilire la via sovra piccioli pali infissi in terra, destinati a sopportare le traverse sulle quali avessero ad essere infissi i cuscinetti, oppure a sopportare i cuscinetti a dirittura. Questo metodo avrebbe l'inconveniente di render minore l'elasticità di quello che sia impiegando i traversi di legno. Del resto io non conosco a questo proposito alcuna esperienza degna di attenzione.

È cosa essenziale che tutte le spranghe siano esattamente della medesima lunghezza, perchè in caso di accidente si possa sostituire la prima che venga alla mano. Però quando s'impiegano le traverse di legno, dovendo tutte le giunture trovarsi in faccia l'una dell'altra, od in faccia d'uno dei sostegni della spranga opposta, conviene avere due lunghezze di spranghe, di cui l'una sorpassi l'altra nella proporzione della differenza di sviluppo dei due rami della curva a più picciolo raggio, di cui la compagnia possa far uso. Se tal raggio è di 500 metri, e la via di $1^m,50$, tal differenza sarà di 0,003, oppure di 0,015 nelle spranghe di 5 metri di lunghezza: quando le curve hanno un maggior raggio s'impiegano a vicenda spranghe lunghe, in proporzione della differenza dello sviluppo, locchè non offre alcun inconveniente, mentre se ne incontrerebbero molti se vi fossero troppi modelli di spranghe.

È anche cosa essenziale il lasciare fra le estremità delle spranghe un picciolo intervallo che impedisca l'urto delle une contro le altre nelle variazioni di lunghezza derivanti dalle differenze di temperatura, perchè se ciò accade la linea si deforma orribilmente. Se si trovano di seguito due o tre spranghe troppo vicine, l'attrito contro le cavicchie che le chiudono nei cuscinetti basta per impedire agli intervalli di eguagliarsi, quantunque sembri che tal movimento dovesse esser favorito dalle vibrazioni e dal fremito cagionato dal moto nel sistema della via.

Il ferro assorbe molto calore quando è esposto ai raggi

del sole, e bisogna calcolare che nella state può giungere alla temperatura di 50°; e dacchè quel metallo si dilata di 0,0000126 per ogni grado di termometro centigrado, ne consegue che se si costruisce una strada di ferro a 10° bisognerà lasciare fra ciascuna spranga di 5 metri un intervallo di $40 \times 5 \times 0{,}0000126 = 0{,}00252$.

Quando le spranghe non sono ben assicurate ai cuscinetti van soggette a smuoversi ed a forviare in un senso o nell'altro, a seconda che le numerose cause producenti tal effetto siano preponderanti le une sopra le altre. Siffatta tendenza si fa vieppiù visibile quando ad una bassa temperatura che lascia grandi intervalli tra le spranghe si aggiunge una grande siccità che diminuisce il volume delle cavicchie di legno. A ciò si rimedia in più guise: sulle strade inglesi si mette all'estremità della spranga un picciol risalto che s'interna in una cavità del cuscinetto corrispondente: nella strada di Saint-Étienne ho fatto il saggio di forare nelle spranghe prima del cuscinetto un buco di 3 millimetri di diametro, nel quale si metteva una cavicchia di ferro, ed ho anche fatto la prova di praticare in mezzo al cuscinetto un piccolo orlo contro il quale veniva a posare un intaglio corrispondente praticato nella spranga.

Tutti questi melzi sono, dal più al meno, ben riusciti. Tuttochè non risultino gravissimi inconvenienti da tal deviamento delle spranghe, perchè è sempre limitato, bisogna tuttavia porvi una certa attenzione, perchè se andasse troppo oltre, il capo della spranga abbandonerebbe l'intaglio del cuscinetto destinato a riceverlo, e le vetture, e le macchine potrebbero su tali punti forviare.

La causa più frequente di tal movimento si è la gravità, quando le spranghe son poste sopra parti alquanto inclinate, e soprattutto quando si mettano sovente in opera i freni per moderare la celerità delle vetture. Quando il movimento di una strada di ferro è assai più considerevole in un senso che nell'altro, le spranghe s'avanzano sulle curve nel senso opposto a quello del picciolo sdrucciolamento delle ruote prodotto dalla differenza di sviluppo delle spranghe interna ed esterna, vale a dire che tale sdrucciolamento fa avanzare la spranga

della curva esterna nel senso del maggior movimento, e fa retrocedere quella della curva interna.

Le macchine locomotive tendono anche a rigettare le spranghe all'indietro, contraendo con quelle, in forza dell'attrito, un'adesione che tende a compensare inegualmente gli effetti dell'andata e del ritorno a norma della fatica che sostiene la strada nei due casi.

Un'altra causa infine consiste nelle picciole scosse che hanno luogo all'estremità delle spranghe, quando la loro piegatura al passaggio dei convogli è troppo grande, o quando un vizio di fabbricazione, o qualche altro accidente, abbia fatto nascere dei risalti contro cui urtino le ruote delle macchine o delle vetture.

Nulla dovendo essere trascurato, è cosa prudente l'invigilare sulla formazione, la posizione e la materia dei cunei che servono ad unire le spranghe ai cuscinetti. Mi è sempre sembrato, per diversi motivi, che si abbiano a situare esteriormente alla via. Infatto per la forma che si è finora data alle spranghe, vi è meno a temere, se manca il cuneo, che il convoglio si spinga nella direzione *BA* (tav. V, fig. 28) che nella direzione *AB*; perchè nel primo caso la spranga appoggiandosi in *C* è ancora ritenuta dall'intaglio *D*, mentre nel caso contrario, se il movimento avesse luogo da *A* in *B*, nulla impedirebbe che la spranga si staccasse dal cuscinetto, e venisse ad occupare l'intervallo lasciato libero dal cuneo. Conviene altresì notare che giova sempre l'interporre un corpo elastico fra il cuscinetto e la spranga, e sostenerlo il più davvicino possibile alla parte superiore della spranga. La strada dovendo essere più innalzata dal lato della banchetta che nell'intervallo delle spranghe, saranno le caviglie meno disposte a cambiar direzione in forza delle alternative dell'umido e del secco.

I cunei in legno bene stagionato, soprattutto se si spalmano di pece, mi sembrano preferibili a quelli di ferro che si sono talvalta posti in uso: questi ultimi non combaciano mai coi cuscinetti e colle spranghe se non che in alcuni punti, e se i cantonieri le battono troppo fortemente per infiggerle, se ne rompe buon numero.

Si è osservato che le spranghe situate l'una in capo

all'altra si costituiscono in uno stato permanente di elettricità che le guarentisce dall'ossidazione; in guisa che non è a temersi tal sorgente di guasto. La giustezza di siffatta osservazione può essere comprovata mettendo nella giuntura di ciascuna spranga un poco di limatura di ferro sopra un foglio di carta, ed osservando l'assetto dei granellini che si mettono nella direzione di ciascuno dei poli di questa gran pila. Può anche essere che tal effetto si renda più attivo in forza del movimento considerevole che ha luogo sulle grandi linee. È questa una quistione che dovrà esser chiarita col tempo.

In quanto alla durata delle spranghe, è dessa assai differente a seconda delle condizioni particolari in cui si trovano poste, senza però che si possa prevedere quale sarà per essere la durata anche a condizioni date. Aveva calcolato, nell'erigere la strada di ferro di Saint-Etienne, che le spranghe avessero a durare 15 anni; ma si sono deteriorate ben più rapidamente, e furon poste assai più presto fuori di servizio; in guisa che questa parte di manutenzione ha superato di molto la mia previdenza. È vero che il movimento fu quasi doppio di quanto io avea supposto (1). Ma la maggior parte delle spranghe fu consumata prima della metà di quel lasso di tempo.

Bisogna calcolare che la differenza di valore fra le spranghe vecchie e le nuove è di 150 fr. per tonnellata. Ora, io ho impiegato nella strada di fereo di Saint-Étienne, sopra un'estensione di 56 chilometri, 3,000 tonnellate di spranghe del peso di $13^{chil.},50$ per ogni metro di lungo. Supponendo che si debba ogni anno rinovarne una sesta parte, e che in tale stato abbiano perduto un quarto del loro peso, valutandone il prezzo a 350 fr. la tonnellata, l'ammontare della spesa annuale, di rinovamento sarà

$$\frac{3000}{6} \times 150 + \frac{3000}{6} \times \frac{1}{4} \times 200 = 100,000,$$

cioè $1^{f},75$ circa per metro di lungo, o a un di presso la metà di quanto costa sulla strada di Manchester.

(1) Si veda il *Conto reso della strada di ferro* pubblicato nel 1826, pag. 42.

Come ho già fatto osservare i *tournhouts* (ponti a bilancia), i cambiamenti o biforcazioni di strada, esigono un'attenzione più speciale, e precauzioni tali che non si possono specificare. Tutto ciò che ho detto della strada in generale, si applica naturalmente anche a tai casi eccezionali, e, dacchè s'incontrano di rado, si può sempre studiarli accuratamente e farne soggetto di una minuta vigilanza.

## CAPITOLO VI.

### DELLE VETTURE.

---

### I. Della forma delle vetture.

La forma e la maniera con cui si costruiscono le vetture impiegate attualmente al trasporto del carbon fossile, dei minerali, della castina, della sabbia, ecc., ed altri oggetti analoghi, che devono potersi caricare e scaricar facilmente con poca spesa, non sembra a me che abbiano raggiunto, e nemmeno che siansi avvicinate allo scopo proposto.

Tali mercanzie vengono caricate sulle vetture, sia col badile, sia a mano: la vettura costrutta in forma di piramide tronca e rovescia, s'apre in fondo per mezzo di una cateratta mobile onde lasciar scorrere le materie nei magazzeni o nei depositi.

Ma questa cateratta non si può aprire intieramente se non quando ha una larghezza minore della distanza che passa tra il fondo della vettura e le spranghe, ed una lunghezza meno estesa dell' intervallo che passa fra i due assi. Perciò il carbon fossile, la castina, ecc., ostruiscono spesse volte il passaggio, e bisogna allora con picche o zappe rompere e far scorrere il carbone, o battere la vettura con mazze per eccitare tali vibrazioni che faccian cadere il contenuto.

Le cateratte hanno inoltre il grave inconveniente d'essere maltrattate dalle scosse dei materiali ai quali aprono il passaggio, e di lasciar sempre qualche interstizio per cui si perde nel tragitto una parte degli oggetti trasportati, quando non sono in pezzi di certa grossezza.

Converrebbe dunque trovare una forma di vetture più conforme all'uso cui sono destinate; ma atteso che l'impiego di una vettura di nuova forma richiede d'ordinario macchine adattate al suo modo di costruzione, la cosa non è sempre tanto facile come si potrebbe credere a tutta prima.

È cosa assai svantaggiosa l'avere sopra una strada di ferro molti modelli d'utensili impiegati al medesimo servizio, perchè ciò complica le operazioni di manutenzione e di riparazione. In fatto è agevole il comprendere che, quando si ha un materiale considerevole disperso lungo una gran linea, bisogna che sui punti principali vi sieno officine contenenti tutto ciò che è necessario per rimettere qualunque pezzo rotto o guasto; e bisogna avere quasi dappertutto depositi dei pezzi più essenziali, come spranghe, cuscinetti, dadi, od anche ruote di vetture pronte ad esser messe in opera. Tutti questi oggetti devono essere di tal calibro da potersi rispettivamente sostituire gli uni agli altri. Se vi sono parecchi modelli, bisogna avere provvisioni molto più considerevoli, e gli operai sono esposti a commettere errori. Inoltre si fanno fabbricare i pezzi a prezzo ben inferiore quando se ne possono commettere grandi masse. Non si deve dunque cambiare un modello, che sia da lungo tempo in uso nell'officina, se non dopo matura riflessione, perchè d'ordinario ne consegue la perdita intiera di tutto il materiale il cui saggio non è riuscito.

Il costo di una vettura nelle officine della compagnia della strada di ferro di Saint-Étienne, sul modello di quelle della strada di ferro di Darlington, ammonta a 500 fr.

Ecco i particolari del peso e del prezzo dei diversi pezzi pagati agli operai: a ciò bisogna aggiungere il carbone e la manutenzione degli utensili, e la pigione delle officine:

FERRO.

| | Peso. | Prezzo di fattura. |
|---|---|---|
| 2 Sbarre per sostenere il fondo della cateratta . . . . . . . . . | 30kil. »c. | — 2fr. 50 |
| 4 Pezzi per unire le vetture fra | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| loro, con chiavarde, viti, catene ed uncini | 28 | 50 | — | 5 » |
| 2 Chiavarde e viti per sostegno. | 5 | » | — | 1 20 |
| 2 Chiavarde a tondino per maniglie, e galletti forati a chiocciola. | 1 | 50 | — | 0 55 |
| 4 Squadre e 4 cerchii per l'alto e pel fondo delle vetture | 9 | » | — | 0 64 |
| 16 chiavarde e 16 galletti, teste oblique per le squadre | 7 | 75 | — | 0 72 |
| 8 Cerchii per le ruote, 12 chiavette per i mozzi, e 4 altre per le ruote | 19 | 25 | — | 2 » |
| 2 Assi di 30 linee, lavorati al tornio | 94 | » | — | 3 50 |
| Collocamento delle ruote sugli assi, foratura dei buchi per le chiavette, il tutto finito e messo in opera | | | — | 6 50 |
| 8 Chiavarde di sostegno, colle viti. | 8 | » | — | 0 48 |
| 1 Squadra in latta per le stanghette | 0 | 50 | — | 0 16 |
| 4 Scatole di latta per contenere l'olio da ingrassare | | | — | 14 » |

Ferro fuso.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 Ruote di ferro fuso trapanate. | 480 | » | — | 5 » |
| 4 Mozzi trapanati | 44 | » | — | 3 20 |
| 4 Sostegni | 42 | » | — | » » |

Legno.

| | | |
|---|---|---|
| Fattura della cassa della vettura. | — | 36 » |

Il vantaggio riconosciuto dell'uso dei corpi elastici sulle strade di ferro, ha determinato parecchi impresarii a far sospendere sopra molle le vetture destinate al trasporto delle mercanzie, locchè ne aumenta il costo di 300 franchi. Sperimenti fatti dal sig. Wood e ripetuti dal sig. Pambourg (1) hanno dimostrato che non ne deriva,

(1) *Trattato delle macchine locomotive*, pag. 131.

come si sarebbe dovuto aspettare, una grande diminuzione di resistenza: l'unico vantaggio sul quale si può far conto consiste nel minor deterioramento della via e del materiale.

La costruzione delle vetture deve essere un poco subordinata alle abitudini di quelli che devono farne uso: perchè solamente col tempo si possono avvezzare gliopera j alle minute cure richieste da tal uso: bisogna quindi mettere la forza e la disposizione delle diverse parti in proporzione colla trascuranza delle precauzioni necessarie. Non ho mai potuto giugnere ad impedire che si lanciassero barre di legno attraverso i raggi delle ruote delle vetture in moto, per fermarle, quando per accidente o a bella posta si era lasciato che acquistassero tanta celerità da non poterla più moderare in altro modo. L'eccedenza di forza che convien dare alle vetture, per tali considerazioni, ha fatto sì che se ne aumentasse successivamente il peso. Era da principio nella strada di Saint-Étienne di 1,050$^{chil.}$, ed è adesso di 1,350.

Quando si deve mettere alla prova qualche nuovo materiale, o si deve modificare quello che esiste, è d'uopo esaminare con tutta l'attenzione qual sarà l'impiego e le funzioni di ciascun pezzo, quali saranno le scosse e gli accidenti cui sarà esposto, calcolarne conseguentemente la forza. Per non aver fatto un tal esame abbastanza attentamente, io credetti che gli assi delle vetture ricevuti dall'Inghilterra per modello, di 3 pollici di diametro, fossero di una forza esagerata e credetti poterli ridurre a 30 linee. Ma ebbi ad accorgermi più tardi, visto il gran numero che se ne piegava e se ne rompeva negli accidenti, che avrei agito con miglior senno attenendomi a ciò che l'esperienza aveva insegnato agli Inglesi.

I grandi assi, quando le ruote non sono interne, aumentano l'attrito e le spese di traimento: perciò gli Inglesi hanno fatto girare gli assi entro colli o cuscinetti situati fuor delle ruote, il che ha permesso di ridurre il diametro 0$^{m}$,03: hanno anche migliorata la via, locchè, unito alla gran cura che hanno per la manutenzione della linea, diminuisce, come abbiano veduto, la re-

sistenza dei convogli nel rapporto di 36 a 50. Tal differenza è ben lungi dall'essere proporzionata a quella che dovrebbe risultare dalla gran diversità che passa nella porporzione dall'asse alla circonferenza della ruota, locchè farebbe conoscere che l'attrito degli assi sui colli, o cuscinetti, non forma, come generalmente si propende a credere, la maggior parte della resistenza, oppure che l'ingrasso inglese, composto di 45chil. di sego, 4chil.,5 di catrame e 9 litri d'olio di pesce, è inferiore all'olio d'oliva del quale io faceva uso sulla strada di Saint-Étienne quando ho istituito questi confronti.

## II. Dell'ingrasso e degli assi.

Per ottenere con economia un'eccellente materia da ingrassare, io aveva inventato certe scatole, che nei saggi fatti mi erano riuscite al di là di ogni speranza; e se nell'applicazione in grande ebbi a trovarmi deluso, ciò è proceduto dalla materialità dell'abitudine che in tante altre cose mi ha contrariato, e dagli imbarazzi d'ogni specie ch'ebbi a provare nel mettere in attualità di servizio la strada di ferro di Saint-Étienne.

Tal meccanismo consiste in una scatola di latta *ABCD* (tav. V, fig. 29 e 30), che racchiude il cuscinetto, e vi è assicurato in *AB* con picciole viti. Un cilindro di legno *ET*, posto nell'interno, è compresso da due picciole molle d'acciajo *GH* contro l'asse *AB*. Si mette l'olio nel fondo della scatola, e l'asse girando strascina seco il picciolo cilindro *EF*, che deve soltanto toccare la superficie dell'olio colla sua parte inferiore, e portarlo all'asse il quale, in questa guisa, vien ad essere sempre convenientemente umettato.

Sperimenti eseguiti e continuati con accuratezza, mi avevano fatto riconoscere che le scatole ben formate, mantenute da diligenti operaj e contenenti la qualità di olio necessario onde il cilindro restasse immerso per 2 o 3 millimetri, bastavano a tenere la vettura perfettamente ingrassata per tre settimane ed anche per un mese, locchè riduceva tale spesa a meno di un decimo di quanto era prima. Ma quando tal metodo d'ingras-

samento fu affidato ad operaj che non sapevano praticarlo coll'intelligenza necessaria al buon esito, tutti i vantaggi si convertirono in altrettanti inconvenienti, e nel timore di lasciar mancar l'olio nelle scatole, se ne distribuì con tanta profusione che la spesa aumentò del doppio di ciò che era prima cogli antichi mezzi.

L'ingrassamento è una delle parti più importanti delle spese di trasporto; nella strada di ferro di Saint-Étienne, è salito sino alla somma di 60,000 fr. all'anno, per 1,200 vetture, ossia a 50 fr. per vettura. È questa parte importantissima del servizio, e si deve sopr'essa diligentemente invigilare.

Le sostanze impiegate ad ingrassare hanno tutto l'inconveniente di indurirsi nell'inverno e di restare allora quasi senza effetto. Spesse volte fu negato ciò essere un inconveniente, e fu risposto che quando manca l'ingrasso, l'asse si riscalda ed il calore che sviluppa restituisce tosto alla sostanza la fluidità. Ma a tale rozza spiegazione basta replicare che quando l'asse e la scatola sono sufficientemente scaldati per produrre tal effetto, l'uno e l'altro sono già alterati e ben vicini ad esser posti fuori di servizio.

V'è un grande inconveniente nell'impiegare per ingrassamento una sostanza che induri troppo pel freddo; ed è che non si può, quando si è adottato un apparecchio che operi un ingrassamento continuo, come erano le scatole a viti di Liverpool e quelle da me inventate a Saint-Étienne, sguernire tutte le scatole per sostituirvi momentaneamente quando il freddo si fa sentire, una materia più fluida. Il buon ingrassamento richiede operaj esercitati, ed è tanto più difficile il trovarli ed instruirli quanto più questa professione sembra recar seco alcun che di disoncrevole, a cagione del sucidume a cui per necessità espone la persona. Converrebbe quindi, se si dovesse far variare ad ogni cambiamento di stagione la natura delle sostanze da impiegarsi nell'ingrassamento, avere a propria disposizione una folla d'operaj a seconda de'tempi in cui si dovessero eseguire i cambiamenti. Ma, perchè non si possono avere e perchè il tempo in cui giunge il freddo, od il caldo, è sempre incerto,

val meglio adottare un metodo d'ingrasso a cui si possa attenersi in ogni stagione. Il meglio sarebbe formare una tal sostanza la cui consistenza potesse essere indipendente dalle variazioni di temperatura per ingrassare ad un dipresso in modo eguale in ogni tempo: ciò può formare soggetto di utili ricerche.

Allorchè l'ingrasso è troppo liquido s'insinua fra l'asse e la ruota, e tende a far uscire le biette o le cavicchie che uniscono l'uno all'altra: allora le ruote sdrucciolano negli assi, perdono la proporzione di larghezza che devono avere colla via per ben agire, per cui le vetture balzano fuori delle guide. L'ingrasso olio d'uliva, quando non è usato con precauzione, produce più di ogni altro tale risultamento.

I cuscinetti, le scatole da ingrassare e le altre parti del sistema di assetto delle ruote e degli assi alle vetture, devono avere un certo agio che permetta al sistema di assumere quel cambiamento di forma che è necessario per praticare le curve, i *tournhouts* e gli ingressi e le uscite dalle ramificazioni senza abbandonare le spranghe. Dovendosi ristringere tale spazio nei limiti i più angusti, quelle diverse parti provano le une contro le altre un attrito laterale che ben presto le deteriora, ed influisce possentemente a mettere le vetture fuori di servizio.

Quando, per qualunque siasi cagione, manca l'ingrasso, la scatola che ordinariamente è fatta di metallo più tenero che l'asse, è la prima ad essere attaccata, e quando quest'effetto è giunto ad un certo grado e quando una porzione di limatura di ferro fuso o di rame s'insinua nell'intervallo che esiste fra la scatola e l'asse, non tardano entrambi ad essere distrutti. Sgraziatamente non è possibile di rimediare al male durante la corsa, perchè quando le superficie sono in tale stato, il corpo grasso non agisce per nulla su di quelle, e l'asse che d'ordinario non è più in istato di servire, non può cambiarsi che alla prossima stazione.

Nel semestre dal 1 novembre 1832 al 30 agosto 1833, durante il quale il movimento delle mercanzie sulla strada di Saint-Étienne fu di 130,000 tonnellate, e s'in-

troitarono, compreso lo sborso dei viaggiatori, 900,000 fr. con 800 vetture, furono messi fuori di servigio 350 assi, cioè:

140 ebbero i colli usati in maniera da non potersi più impiegare. Si dovette ribatterli ai due capi, rimetterli sul tornio, o tagliarli in mezzo per saldarli ad un'altra parte di ferro, onde poterli ridurre a nuovo, operazione che, tanto nell'uno quanto nell'altro caso, ha costato 10 fr. per asse.

140 logori da una parte soltanto, la cui riparazione costò 7 fr.

10 rotti.

60 piegati, guasti, o contorti.

La tratta per cui il collo degli assi posa sui cuscinetti, non è cosa indifferente per la loro conservazione: quando tal superficie è alquanto considerevole, v'è la probabilità, che se una parte del collo manca d'olio e si guasta, la parte che resta impedisce al male di aggravarsi, ed allora il collo solo vien d'ordinario danneggiato. Il sig. Wood crede che l'attrito sia il minimo, avuto riguardo alle superficie che si trovano in contatto, quando la loro estensione corrisponde a 7 chil. per ogni centimetro quadrato.

III. Delle ruote.

Le ruote, per la loro fragilità, sono più esposte degli assi ad esser messe fuori di servigio, e non si è ancor trovato un buon sistema di ruote che non esiga una grande manutenzione. Si è fatto un gran passo per evitare il deterioramento delle circonferenze, fondendo le ruote in una forma di ferro fuso, che raffredda immediatamente il metallo, comunica ad esso la propria levigatura, e, con tal specie di tempra, lo indura eccessivamente fino a 2, o a 3 millimetri di profondità. Ma tale operazione favorisce la frattura delle ruote, già tanto fragili per la materia di cui sono formate.

Quando fu posta in attività la strada di Saint-Étienne, potei convincermi della grande superiorità, in quanto alla durata, che le ruote temperate hanno sopra quelle che non

lo sono. Dovendo allora per la fretta far fondere le ruote prima di poter preparare le forme, ne feci gittare un gran numero nella sabbia, ma si logorarono sì presto che alcune non durarono sei settimane, mentre non mi è mai accaduto di vedere ruote temperate poste fuori di servizio per cagione di logoramento. Il solo caso in cui periscono di questa guisa, si presenta quando, nelle pendenze eccedenti di molto il limite entro il quale le vetture discendono per forza di gravità, i conduttori legano un certo numero di ruote in modo da non potere del tutto girare; la circonferenza, nel punto di contatto, si riscalda ben tosto e vi si forma una parte piatta. Le ruote così alterate si dicono dagli operai *poligonate*: desse cagionano scosse periodiche nel corso e bisogna sempre cambiarle.

Quando si fondono le ruote, il ristringimento nel raffreddarsi non si opera in modo proporzionato alla distribuzione delle masse delle diverse parti: ne conseguono numerose fratture che si manifestano, o durante il raffreddamento, o quando si levano dalle forme, o al minimo urto nella officina. È evidente che lo stato violento in cui sono le parti le une verso le altre, per cui al minimo sforzo si fratturano, influisce possentemente ad affrettarne la distruzione, quando sono esposte a maggiori prove durante il servizio. Venne tentato, però con poco buon esito, di tagliar l'asse in tre porzioni cinte da fascie di ferro, empiendo gli intervalli con cunei parimenti di ferro.

Si è del pari tentato di fondere la circonferenza perfettamente cilindrica, coprendola con un cerchio di ferro messo in opera ancor caldo, in modo che restringendosi divenga aderente al ferro fuso, e contribuisca a dargli maggior solidità. Si lavorano poscia tali ruote al tornio per ridurle al diametro conveniente. Tale operazione fa accrescere di 200 fr. circa il costo di ogni vettura.

Per altro, nessuno di questi metodi ha prodotto i desiderati risultamenti, sia in riguardo all'efficacia, sia in riguardo al costo. Resta dunque ancora da investigare quali sieno le qualità della fusione, il grado di calore al momento in cui si opera, e la forma più propria per dare alle ruote maggior solidità.

Io avea tentato alcune prove per far le ruote con raggi e circonferenze di legno, munite di cerchi di ferro, ma non ho potuto condurle a fine. Credo tuttavia che nei grandi trasporti che sono molto esposti agli accidenti, la maggior durata, non che la diminuzione delle avarie, compenserebbero l'eccesso di spesa che si incontrerebbe adottando un sistema in cui il legno fosse la base della costruzione delle ruote; e, di più, che si avrebbe il vantaggio d'impiegare una materia più elastica del ferro fuso, e per conseguenza più atta a conservare la via e le vetture.

La qualità del ferro fuso influisce molto sulla solidità e sulla durata delle ruote: è noto come la natura di quelle materie sia variabile. Ho osservato essere cosa vantaggiosa l'unire nella fusione un po' di ferro vecchio al nuovo, soprattutto quando questo è molto dolce; ne risulta un'amalgama più fibrosa, per cui il materiale va meno soggetto alle fratture.

Quando l'asse delle ruote è cilindrico, e così anche il mozzo, vengono accoppiati lavorando l'uno al tornio, e trapanando l'altro, in modo che il contatto sia perfetto per quanto è possibile. S'infigge l'asse nel mozzo della ruota con una picciol berta che batte perpendicolarmente all'asse, e si fora un buco di $0^{m},014$ di diametro, per mezzo di un trapano infisso ad un tornio in aria, che fa metà del suo passaggio nel ferro e l'altra metà nella ghisa. Si configge in seguito una cavicchia di ferro dolce nel buco, e si empiono i piccioli spazj che posson restare con mastica composta di limatura di ferro o di ghisa, uno o due centesimi di sale ammoniaco ed altrettanto di zolfo per impedire che l'olio vi s'introduca.

Le ruote si rompono frequentemente quando, per una disposizione della via, l'orlo è esposto a toccare le spranghe o il fondo del *ponte a bilancia*. Nelle grandi celerità il minimo contatto basta a rompere tutto ciò che è esposto agli urti, od a produrre almeno tali fenditure che fanno perdere ben presto i pezzi che vi andarono soggetti.

### IV. Delle opere in legno.

I legni migliori per la costruzione delle vetture sono quelli delle piante giovani: la condizione più essenziale al loro buon impiego è che siano di buon filo. I legnajuoli esercitati non badano punto alle circostanze che siano perfettamente ritti, e li lavorano con eguale esattezza sebbene divengano meno lisci e men belli a vedersi.

Ho osservato che quando le tavole dell'interno della vettura sono poste di traverso, lo scarico è men facile che quando sono verticali, e allorchè le fibre del legno sono parallele al moto. delle mercanzie che devono scorrere e scaricarsi per mezzo della cateratta.

Nel costruire o nel migliorare le vetture, si deve anche aver gran cura di non dar loro troppo peso. Quando le strade di ferro sono orizzontali si può sperare, come già dissi, di ridurre le spese di traimento migliorando la via ed il materiale: ma se la maggior massa dei trasporti si fa discendendo su rapide pendenze, come avviene sulla strada di ferro del Rodano fra Saint-Étienne e Rive-de-Giers, l'aumento del peso del materiale fa necessariamente aumentare in proporzione anche la spesa del trasporto delle mercanzie, poichè la sola spesa che si abbia a fare consiste nel far risalire le vetture vuote.

Non avendo io mai fatto uno studio speciale intorno alla costruzione delle vetture destinate a trasportare i viaggiatori, mi asterrò da qualunque riflessione su tal proposito. Del resto questa è una delle parti che furono meglio studiate e meglio perfezionate, e mi sembra che la comodezza di quelle vetture lasci poco a desiderare.

### V. Delle macchine da caricare e scaricare le mercanzie.

I mezzi di caricare e scaricare con facilità ed economia i diversi oggetti e mercanzie che si trasportano sulle strade di ferro, costituisce un ramo importantissimo dell'uso di quelle, a cagion delle spese considerevoli che sono necessarie per lo spostamento di sì enormi masse. Il carbon fossile viene d'ordinario caricato mediante

piatteforme che s'innalzano al livello delle parti superiori del carro: allora si fa uso di picciole carrette condotte a mano, o di cesti portati a spalla dagli operai. Quando le miniere di carbon fossile sono vicine alla strada di ferro, o quando la cava è servita da una ramificazione, si vuotano direttamente i corbelli nel carro, locchè è molto economico.

In alcune parti dell'Inghilterra, ove si scava il carbon fossile senza scelta, tal quale si trova sotterra, il si getta sopra graticci inclinati, divisi in compartimenti di varia dimensione, che separano alla prima il carbone minuto, i pezzi di media grossezza chiamati *grèle*, quindi i pezzi di mezzana grossezza: i *peras*, ossieno i grossi pezzi, cadono al fondo, e vengono per una disposizione particolare ad allogarsi nei carri od a formarsi in mucchii nei magazzini. Tal disposizione non potè essere applicata nel bacino carbonifero del dipartimento della Loire, perchè un'antica abitudine, non ancora sradicata, esige che nel pagare ai minatori il prezzo di estrazione, si abbia riguardo alla qualità del carbon fossile: perciò la cerna si fa in fondo alla miniera, ed ogni qualità si fa risalire separatamente all'orificio del pozzo.

Questo modo di caricare non va però esente da inconvenienti; fra gli altri v'è quello che il carbone si rompe, che s'aumentano i guasti, e che i carri si deteriorano per l'urto della caduta del carbone. Perciò, in quanto agli oggetti pesanti, valgon meglio le barelle sulle quali a braccia d'uomini si caricano e si scaricano le masse di grosso volume e di peso considerevole.

Quando si carica il carbon fossile all'uscire dei pozzi, durante un freddo rigoroso, e quando procede da cave umide, e sia stato bagnato nei pozzi, l'acqua in esso contenuta si gela durante il tragitto: il contenuto del carro diventa una sola massa, e aderisce alle pareti, cosicchè nol si può più scaricare. Tale accidente mi ha qualche volta tantò contrariato, che, comunque sia raro, m'indusse a far costruire in alcuni punti della linea, al dissotto della strada, forni destinati a riscaldare i carri per fondere il ghiaccio, e poter così staccare il carbone e levarlo.

Lo scarico delle mercanzie, secondo la loro natura, si opera, in diverse guise; si lascia cadere il carbon fossile, la sabbia, la castina, il minerale, ecc., nei magazzeni o depositi situati al dissotto della via per riceverli, aprendo la cateratta che forma il fondo del carro. Ma avviene sovente, soprattutto quando gli oggetti sono in grandi pezzi, od anche solamente frammisti di pezzi più grossi gli uni che gli altri, che vengano ad ostruire l'apertura della cateratta. Bisogna allora romperli o levarli a mano, locchè cagiona spese e ritardi, e deteriora i carri.

Quando il carbone e le altre mercanzie devono essere imbarcate s'adoperano bilici atti a tal uso, dei quali esistono parecchi modelli. Devono esser calcolati in guisa che l'eccesso di peso prodotto dal carro caricato sovra il piatto sia eguale a quello che loro manca per restare in equilibrio quando il carro è scaricato.

Il mezzo che si presenta più naturale alla mente è di far bilanciare i carri come le carrette ordinarie, mezzo che mi è perfettamente riuscito per i carri da sgombrar materiali che vanno sempre a rilento, e spesso separati gli uni dagli altri. Ho fatto parecchi tentativi per estendere tal metodo al servizio generale dei trasporti, ma ho sempre trovata una difficoltà insormontabile nel combinare le cose in modo che le piane del bilico possano rovesciare la cassa e nello stesso tempo essere abbastanza solide per resistere agli urti ai quali sono esposti i carri quando sono accoppiati e riuniti in convoglio.

Si tratterebbe quindi d'inventare un metodo da poter rovesciare la carretta intiera col suo carico, in modo che questo se ne staccasse, ed abbandonasse il carro per effetto di gravità.

Ad ottenere tale risultamento io avea immaginato di situare nel luogo dello scarico alcuni piani *HI* (tav. V, fig. 30) guerniti di spranghe in continuazione della via, sostenuti dagli appoggi *CM*, *CN*, *CO*, *CP*, sospesi essi pure a due cardini mobili *C*, il cui centro di gravità coincidesse con quello del carro caricato. Siffatti assi sarebbero stati collegati ad una porzione d'arco di cerchio *KL* munito d'un addentellato, e condotto da un perno *G*

armato di manivelle. I cardini avrebbero dovuto girare sopra ruote poste in un sistema solido di legname o di ferro, stabilito sulla via in modo invariabile. Da principio si sarebbe dovuto fissare solidamente un carro al piano della parte superiore, e si sarebbero posti dei freni alle ruote per impedire il moto: gli operai, facendo girare il perno *G*, avrebbero fatto inclinare il carro fino a tal punto che il contenuto potesse scorrere nell'intervallo della cateratta, od essere estratto comodamente a braccia d'uomini. Però, non avendo io fatto eseguire queste macchine, occorrerebbe la sanzione del tempo e dell'esperienza prima di poter pronunciare sul merito di quelle.

## CAPITOLO VII.

### DEI MOTORI.

---

#### I. Dei cavalli.

Ad eseguire i trasporti sulla strada di ferro s'impiega la forza animale, o la forza meccanica delle macchine a vapore. Al primo mezzo, esclusivamente usato pochi anni fa, vengono oggi giorno generalmente sostituite le macchine locomitive, su quelle strade la cui pendenza non supera certi limiti. I cavalli non vengono impiegati attualmente, se non nelle strade di ferro di particolare interesse, oppure accidentalmente in quelle che sono principalmente alimentate dal trasporto delle mercanzie.

I progressi della civiltà furono ai nostri giorni così rapidi, che si sono considerati come insufficienti le maggiori celerità dei cavalli, e si è dovuto sulle strade di ferro sostituir loro le macchine locomitive, tutte le volte che vi fu tanto concorso di viaggiatori, da poterle impiegare senza perdita. È noto in effetto che gli animali non possono usare di tutta la forza loro propria a differenti celerità, come fanno le macchine. La velocità degli animali ha un limite relativo all'organizzazione, che corrisponde al maggior effetto dinamico sperabile dalla loro azione.

La celerità corrispondente al maggior effetto utile dalla forza di un cavallo nella sua giornata, è stato materia d'indagini per molti scienziati e pratici; tal celerità si discosta poco da un metro per secondo, locchè equivale approssimativamente all'estensione ed alla durata del passo d'un uomo.

Tal celerità venne considerata per lungo tempo, e in via d'induzione, come la più vantaggiosa ed anche come l'unica che convenisse dare agli stantuffi delle macchine a vapore. Però non comunicando tal regime alle macchine locomotive tutta la rapidità che se ne esigeva, si dovette portare tale celerità fino a $2^m,50$ ed anche più, senza che sia apparso che sì grande differenza abbia recato molta alterazione all'effetto utile delle macchine.

La forza che si può ottenere da un cavallo varia dunque a seconda della celerità del suo movimento, a seconda della costituzione fisica dell'animale, della sua età, della sua abitudine a quella specie di lavoro, del suo nutrimento e della durata del lavoro che determina la sua perdita più presta o più tarda.

L'effetto dei motori vien generalmente misurato dal numero delle tonnellate che possono sollevare ad un metro in un dato tempo, locchè si chiama dinamia.

Il massimo effetto dinamico che un cavallo può produrre nella sua giornata, fatta astrazione dalla celerità, sembra corrispondere, giusta molte osservazioni, ad una celerità di $0^m,88$ per secondo. Al dissotto e al dissopra di questo termine, l'effetto è sempre minore, perchè nel primo caso l'andamento dell'animale vien moderato dalla lentezza delle corse, e nel secondo una parte della forza è impiegata a trasportar sè stesso a detrimento dell'effetto utile.

La quantità di potenza meccanica ottenuta da un mezzo qualunque, misurandosi della massa posta in moto moltiplicata per la velocità, colla quale è mossa, ne consegue che il peso cui un cavallo può spostare sarà sempre in ragione inversa della celerità colla quale lo strascina, e la pratica ha generalmente indotto a dare ai cavalli un carico che diminuisca quanto più aumenta la celerità. Ma l'eccedenza di fatica dell'animale prodotta dall'acceleramento del corso, fa sì che non possa sostenere tal movimento che per uno spazio di tempo tanto minore quanto maggiore è la celerità.

Quando il cavallo proviene di razza naturalmente disposta per la corsa, e che vi è stato abituato dalla prima

età, sostiene più lungamente l'eccesso di fatica derivante dal moto il più rapido; ma lo sforzo necessario per trasportar sè stesso con tanta celerità esaurisce una parte delle sue forze; e non si può mai sperare di raggiugnere, e nemmeno di accostarsi, ai medesimi risultamenti dinamici, come nelle velocità ordinarie.

Ecco ciò che gl'Inglesi hanno stabilito dietro numerosi sperimenti riferiti dal signor Walker:

Alla celerità di 4,000 metri all'ora un buon cavallo potrà percorrere sopra una buona strada 32 chilometri trasportando 1,600 chil. compresovi il peso della vettura.

Alla celerità di 10,000 metri all'ora e rilassando ad ogni 6,000 metri, trasporterà 900 chil. a 25 chilometri.

Alla celerità di 16,000 metri, trasporterà 500 chil. a 16 chilometri solamente.

Essendo assai variabile la costituzione fisica dei cavalli, e concorrendo molte altre circostanze a variare la potenza meccanica che possono produrre in un dato tempo, è difficile fissare alcun limite che possa considerarsi come unità propria a rappresentare la forza di quelli; le valutazioni date da diversi autori devono quindi essere considerate come termini medj soggetti a grandi variazioni in più ed in meno.

Gli sperimenti fatti allo scopo di valutare la forza dei cavalli non possono essere utili ed interessanti se non quando sono fatti in gran copia, e rappresentino il risultamento di un servigio regolare, sostenuto per lungo tempo. Gli esperimenti parziali vanno sempre esposti al pericolo d'esser modificati dalle circostanze particolari che possono complicare i risultamenti e farli variare in ragione della forza individuale, dello stato di salute, e d'altri accidenti che svaniscono in un servizio in grande.

Si considera d'ordinario che la forza di un cavallo equivale ad un peso di 75 chil. alzato ad un metro di altezza ogni secondo di tempo, duranti 8 ore, locchè equivale ad un lavoro rappresentato in chilogrami elevati ad un metro, espresso da

$$75 \times 8 \times 60 \times 60 = 2{,}160{,}000^{\text{chil.}}$$

ossiano 2,160 dinamie.

Ma questo dato, che io credo troppo alto, si assomiglia piuttosto ad una convenzione atta a servire come punto di confronto, anzichè al risultamento medio di esperimenti fatti sopra molti cavalli.

Sulla strada di ferro di Saint-Étienne il lavoro dei cavalli è ben lungi dal raggiungere tale quantità.

Ecco la quantità media dei risultamenti ottenuti in diversi tempi e in differenti condizioni.

Ho già detto che quando faceva quelle osservazioni il peso medio dei carri vuoti che fu in seguito portato fino a 1,350 chil. non era che di 1,200 chil. circa; il prezzo di trasporto pagato agl'intraprenditori per ogni carro vuoto era eguale a quello di una tonnellata di mercanzia, di modo che farò entrare questi due elementi nella valutazione della forza dei cavalli, appoggiandomi al numero dei carri vuoti e delle tonnellate che salivano simultaneamente a quel tempo sulla parte di strada di ferro da Givors a Saint-Étienne.

1°. Sulla prima divisione, dal punto di carico a Givors fino all'ingresso nella foratura di Lione, sopra una estensione di 17,000 metri, i cavalli trasportavano nella giornata due carri carichi ciascuno per adequato di 3,300 chil., e li riconducevano vuoti a Givors.

La potenza meccanica che sviluppavano era per conseguenza rappresentata come segue:

| | | |
|---|---|---|
| Per la resistenza dell'attrito, (3300 + 1200) × 2 × 0,005 × 17000 . . | | 765,000 |
| Per la resistenza della gravità, dovendosi alzare la massa a 10 metri, tale essendo la distanza verticale da Givors a Lione, 4500$^{chil.}$ × 2 × 10 . . . . . . . . . . . . | | 90,000 |
| Per il ritorno da Givors a Lione, 1200 × 2 × 0,005 × 17000 . . | 204000 | |
| Da sottrarre per la gravità 2400$^{chil.}$ × 10 . . . . . . . . | 24000 | 180,000 |
| | | 1,035,000 |

Locchè fa risultare la giornata del cavallo a 1,035 dinamie, equivalenti ad un lavoro utile di 50$^{chil.}$,3 per 5$^{or.}$, 44' con una celerità di 0$^{m}$,88 per secondo.

Tal risultamento, come ognun vede, è ben al dissotto del calcolo ordinario. Essendo a quel torno il prezzo del fieno di 150 fr. per tonnellata, e quello dell'avena di 300 fr., si dovea pagare la giornata del cavallo a ragione di 6 fr., vale a dire 1 fr. più del prezzo ordinario. Pochi cavalli potevano strascinare due carri, e gl'intrapredditori dovevano mettere il carro in proporzione alla forza di quelli, formando convogli più considerevoli, ed aumentando il numero dei cavalli in modo da poter ridurre il carico di ciascun cavallo al dissotto di due carri.

Il trasporto costava dunque allora alla compagnia, per ogni tonnellata di mercanzia trasportata ad un chilometro,

$$\frac{6}{2 \times 3{,}300 \times 17} = 0^{fr.},0534.$$

In seguito, essendo ribassato il prezzo del fieno fino a 70, od 80 fr. per tonnellata, e quello dell'avena fino a 175 o 200 fr., si potè ridurre il prezzo del trasporto a $2^{f.},50$ per carro, locchè corrispondeva a $0^{f.},0427$ per tonnellata e per chilometro.

2.° Sulla seconda divisione della strada di ferro da Givors a Rive-de-Giers, ove il lavoro era più regolare e meglio ordinato, il prezzo medio della giornata del cavallo era di 5 fr. Durante un periodo di sei mesi, dal novembre 1834 fino al marzo 1835, il prezzo del fieno salì a 150 fr. per tonnellata, e quello dell'avena a 300 fr.; a quel tempo i trasporti da Givors fino all'ingresso del foro di Rive-de-Giers, sopra un'estensione di 13, 500 metri, divisa in due stazioni, si pagavano in ragione di $2^{fr.},50$ per stazione, e il carico di ogni cavallo, in carri vuoti o in tonnellate di mercanzie, era composto in ragione di cinque carri per ogni tonnellata.

Lo sforzo esercitato dal cavallo era allora:

Per la resistenza dell'attrito,
$(1200 \times 4 + 1000) \times 0{,}005 \times 13500$ . . . 391,500
Per la resistenza della gravità,
$5800^{chil.} \times 70^{m}$, altezza verticale della soglia del foro al dissopra di Givors . . . . . . 406,000

797,500

Percorrendo per solito i cavalli due stazioni e mezzo, il lavoro giornaliero era di

$$797{,}500 + \frac{797{,}500}{4} = 991{,}875 \text{ chil.}$$

992 dinamie per il prezzo di $6^{f},25$; più il ritorno senza carico per lo spazio di 13,500 metri, discendendo per una pendenza di 5 a 6 millimetri per metro, locchè rappresenta un lavoro utile di $61^{chil.},30$ durante 5 ore e 20 minuti, con una celerità di $0^{m},88$ per secondo.

L'alto prezzo del fieno e dell'avena lasciava poco guadagno all'intraprenditore, poichè ogni cavallo costava al giorno pel solo nutrimento

| | | | |
|---|---|---|---|
| $10^{chil.}$ | fieno a 150 | . . | $1^{f},50$ |
| 10 | avena a 300. | . . | 3 |
| | | | 4,50 |

e perciò egli giudicò convenirgli il sacrificare la durata dei cavalli per esigerne un lavoro più considerevole.

Impiegò quindi nel servizio circa 75 cavalli del prezzo di 5 a 600 fr.; portò il lavoro a 3 ed anche, qualche volta, a 4 viaggi al giorno, locchè rappresentava circa 1,200 dinamie. La perdita dei cavalli superò allora il limite ordinario; ne perivano d'ordinario due al mese, per cui la vita media si riduceva a 3 anni, ed il deperimento degli animali figurava nelle spese di trasporto per $0^{f},50$, il qual risultamento fece conoscere che in tali circostanze il massimo lavoro giornaliero del cavallo non poteva sorpassare le 1,200 dinamie.

Nel periodo seguente, da marzo a settembre 1835, il prezzo del fieno fu di 80 fr. per tonnellata, e quello dell'avena di 200 fr. I prezzi furono ridotti a $2^{f},00$ e il numero delle stazioni a due e mezzo per giorno e per cavallo; il che fece rientrare nei limiti ordinarj il lavoro dei cavalli, la durata di quelli, ed i guadagni dell'intraprenditore.

3.° Sulla terza divisione della strada di ferro da Saint-Chamond al ponte dell'Ane, sopra un'estensione di 9,000 metri, il lavoro dei cavalli è stato di due carri vuoti,

o tonnellate, al prezzo di 1 fr. nella proporzione rappresentata da un carico medio di 3,000 chil.

La giornata del cavallo, essendo di due viaggi, è rappresentata come segue.

Per la resistenza dell'attrito,
$3000 \times 0{,}005 \times 9000$ . . . . . . . 135,000
Per la resistenza nel sollevamento della massa da Saint-Chamond a Terre-Noire, che è 123 metri più alta di detta città, $3000 \times 123$ . . . . . . . 369,000

504,000

e per i due viaggi,

$$504 \times 2 = 1008 \text{ dinamie,}$$

ciò che corrisponde ad uno sforzo di 56 chil. durante $5^{or.}$, 40' con una celerità di $0^{m},88$ per secondo. Ne consegue che lo sforzo medio del cavallo era eguale a

$$\frac{50{,}30 + 61{,}30 + 56}{3} = 53^{chil.},50,$$

e il risultamento della giornata è rappresentato da

$$\frac{1035 + 991 + 1200 + 1008}{4} = 1058 \text{ dinamie;}$$

locchè faceva risultare il prezzo medio della dinamia a

$$\frac{5}{1058} = 0^{f.},00472$$

mezzo centesimo circa.

Il signor Montgolfier mi ha detto più volte che considerava generalmente esagerato il lavoro attribuito al cavallo. Dietro molte osservazioni da lui fatte, egli lo valutava eguale a 70,000 piedi cubici d'acqua alzati ad un piede; locchè corrisponde a

$$70{,}000 \times 0{,}03418 \times 0{,}32484 = 777 \text{ dinamie.}$$

Tali differenze, in meno nelle valutazioni ordinarie del lavoro dei cavalli, dipendono senza dubbio da cir-

costanze particolari di abitudini o di località che potranno servire di confronto in casi analoghi quando si avranno ad impiegare i cavalli nel servizio delle strade di ferro.

I cavalli hanno il vantaggio di adattarsi più facilmente che le macchine alle variazioni di pendenza, perchè la quantità di forza sviluppata essendo relativa alla velocità, si può, diminuendo l'una, aumentar l'altra, e la fatica entro certi limiti rimane la stessa. Ma non è così delle macchine, perchè la quantità di vapore da quelle prodotta è sempre la medesima, e quella che impiegano, rappresentata dalla quantità di forza meccanica sviluppata, è relativa alla celerità, in modo che se la resistenza aumenta, non v'è alcun modo per introdurre una compensazione.

Da tutto ciò si può conchiudere che nelle strade di ferro di poca lunghezza, eseguite con economia, nelle viste di un interesse particolare, seguendo in limiti determinati le inflessioni del terreno, val meglio impiegare i cavalli che le macchine locomotive.

Ma bisogna sempre scegliere fra l'uno o l'altro di questi metodi, perchè oltre la difficoltà di mantener netta la via quando s'impiegano i cavalli, il servizio simultaneo delle macchine e dei cavalli presenta anche l'inconveniente che, essendo la celerità degli ultimi molto inferiore a quella delle prime, bisogna lasciar sempre scorrere un lungo intervallo dopo la partenza dei cavalli prima di farli seguitare dalle macchine. Perciò, onde evitare i ritardi sulla strada di ferro di Saint-Étienne, quando non poteva disporre di un numero sufficiente di macchine, io aveva stabilito che il servizio coi cavalli si facesse durante la notte, e quello colle macchine durante il giorno.

## II. Dell'impiego del vapore nelle macchine.

### § I. *Considerazioni sul modo con cui il vapore agisce generalmente nelle macchine.*

Prima di parlare particolarmente delle locomotive, credo di dover discutere il modo con cui il vapore agisce nelle macchine, come anche di dover trattare de' suoi effetti e della potenza meccanica che se ne ottiene. Tali considerazioni gioveranno a spiegare i fenomeni relativi all'uso del vapore nei differenti stati di pressione e di temperatura, intorno alla qual materia si è ancora all'oscuro.

La maniera con cui il calorico serve d'agente intermediario allo sconosciuto principio da cui emana la forza che viene da noi applicata a tanti diversi usi, è del tutto occulta agli occhi nostri; su tal punto, come in tanti altri, siam ridotti a dover osservare i fatti, e i conseguenti fenomeni, senza che ci sia permesso di penetrare più addentro nelle cause.

Si può considerare la forza come un atto che imprime un movimento ad un corpo che dapprima era in riposo, o che modifica positivamente o negativamente il moto di cui il corpo era già provveduto.

Due cose misurano la quantità della forza sviluppata da una causa qualunque: la quantità delle molecole di materie spostate, e la celerità colla quale si effettua tale spostamento.

Atteso che la gravità esercitata su tutti i corpi che stanno alla superficie della terra un'azione tendente a ridurli al suo centro, ed analoga in tutto agli altri mezzi di mettere i corpi in movimento, si è convenuto per misurare l'intensità delle forze di paragonare l'effetto che producono, o sono atte a produrre, allo spostamento d'una massa presa per unità, che si suppone elevata un certo numero di volte ad un'altezza data; in guisa che questi tre elementi moltiplicati fra loro rappresentano il lavoro o la quantità d'azione sviluppata dal motore.

Si prende ordinariamente per termine di confronto la dinamia, ossia il peso d'un metro cubico alzato ad un metro. Basta allora per indicare l'intensità degli effetti d'una causa qualunque atta a produrre il moto, d'accennare il numero delle dinamie da cui tali effetti sono rappresentati in un dato tempo.

In forza d'un'antica abitudine, a cui però s'incomincia a rinunciare, si paragona anche la potenza delle macchine al numero dei cavalli ai quali si suppone che la forza di quelle possa equivalere: ma allora bisogna indicare qual sia la potenza che si attribuisce al cavallo, esprimendola col peso che il si crede atto ad alzare ad un metro in un secondo. Ma si è veduto, per ciò che ho già discusso, quanto poco si vada d'accordo nell'esprimere la forza del cavallo.

L'unità più usitata al dì d'oggi è la dinamia: è dunque cosa più ragionevole, per esprimere le potenze delle macchine, di preferire quel modo di confronto che non dà luogo ed alcuna discussione, piuttosto che confrontarla come talvolta si usa, a numeri arbitrarii rappresentanti la forza del cavallo, sui quali non si và neppure d'accordo.

La prima idea che ci colpisce, quando si considera il legame dei fenomeni della generazione del moto colla produzione del calore, si è che la qualità di potenza meccanica sviluppata da una data massa di vapore sta in relazione colla sua differenza di densità e di temperatura, considerandola nei due stati consecutivi in cui si trova prima e dopo la produzione del movimento: credo d'aver osservato che esista una specie di rapporto fra la quantità di calore necessario per farla passare dall'uno all'altro di quei due stati, e la quantità di forza prodotta. Con ciò si verrebbe a dire che il vapore non è se non l'intermediario del calorico per produrre la forza, e che deve esistere tra il movimento ed il calorico un rapporto diretto indipendente dall'intermediario del vapore, o di qualunque altro agente che vi si potesse sostituire.

Le esperienze fin qui fatte per conoscere la quantità del vapore a diverse tensioni che si può ottenere da

una quantità determinata di calorico, sembra aver dimostrato che a circostanze eguali il peso dell'acqua svaporata è proporzionale alla quantità del combustibile impiegato, ed è indipendente dallo stato del vapore prodotto; e che se esistono alcune differenze risultanti dalle variazioni di temperatura, sono fuori dei limiti dell'osservazione. Tuttavia è certo che si deve ottenere, e che si ottiene in effetto, dalla stessa quantità di vapore una maggior quantità di forza a misura che il s'impiega ad uno stato di tensione e di temperatura più elevata. Sembra dunque che dovrebbe esistere una legge qualunque che possa collegare fra loro due fenomeni, l'uno dei quali sembra risultare da un'esperienza molto difficile a provarsi, e l'altro sembra stare in contraddizione con tutto ciò che si può ragionevolmente supporre intòrno alla generazione della forza.

Onde mettere in piena luce quest'ultima obbiezione, esaminiamo ciò che accade nella macchina a condensazione ordinaria. Il vapore innalza lo stantuffo, produce la quantità di forza determinata dalla sua tensione e dalla sua temperatura, e trasferisce immediatamente dopo, all'acqua di condensazione, tutto il calorico di cui era provveduto. Sopponiamo che la massa del vapore sia di un metro cubico, la sua tensione di $0^{m},76$ eguale a quella dell'aria, il suo peso sarà di

$$\frac{1000}{1700} = 0^{chil.},588.$$

se vengono injettati nel cilindro $8^{chil.},82$ d'acqua a zero, od una quantità quindici volte più considerevole di quella che ha servito a produrre il vapore, la temperatura di quell'acqua si alzerà a $40^{\circ}$, e conterrà allora precisamente la medesima quantità di calorico che sarebbe stato necessario per ridurre $0^{chil.},588$ d'acqua in vapore a $100^{\circ}$; potrà per conseguenza bastare a produrre un effetto eguale a quello che si era già ottenuto, purchè però si giunga a concentrare il calorico disseminato nell'acqua di condensazione, in modo che possa alzare e ridurre in vapore a $100^{\circ}$ un quindicesimo della sua massa, locchè è del tutto conforme alla teorica.

Si potrebbe allora, col mezzo di una massa finita di calorico, ottenere una quantità indefinita di movimento, locchè non può essere ammesso nè dal buon senso nè dalla sana logica.

Tuttavia, dacchè la teoria attualmente adottata condurrebbe a tal risultamento, mi sembra più naturale il supporre che una certa quantità di calorico svanisca nell'atto stesso della produzione della forza o potenza meccanica, e reciprocamente; e che i due fenomeni sono collegati fra loro da condizioni che danno ad essi relazioni invariabili.

Da questa maniera di ravvisare i fatti ne conseguirebbe che, se si facesse passare direttamente il vapore dell'acqua dalla caldaja che lo produce, attraverso una massa d'acqua in cui si condensasse, tal vapore alzerebbe più la temperatura dell'acqua, che se il si facesse servire preventivamente a mettere in moto una macchina a vapore, nella quale perderebbe una parte della sua forza elastica; e ne conseguirebbe pure che le macchine a vapore in generale non debbano produrre tutto l'effetto che è accennato dal calcolo basato sulla teorica attuale.

Quest'ultimo punto è stato messo fuori di dubbio da tutti quelli che costruiscono macchine o che ne fanno uso. In quanto al primo, ho fatto numerosi esperimenti per dimostrarlo, senza aver mai potuto ottenere risultamenti tanto decisivi da poter essere citati in altra guisa che come presunzione di un fatto necessitoso di più ampie indagini.

L'abbassamento di temperatura che accompagna l'espansione di ogni fluido aeriforme in uno spazio maggiore di quello corrispondente al grado di tensione in cui era prima, ed il fenomeno opposto, vale a dire la produzione del calore che si fa per effetto di maggior compressione, sembrano a me due circostanze che appoggino quanto ho asserito.

Essendoci del tutto sconosciuta la natura del calorico, è tanto difficile l'ammettere che vi sia una quantità di calorico inerente alla stessa natura dei corpi in relazione allo spazio che occupano, quanto il supporre, come io ho

fatto, che la forza meccanica che apparisce durante l'abbassamento di temperatura di un gas come di qualunque altro corpo che si dilati, sia la misura e la rappresentanza di tal diminuzione di calore.

Questi due fatti, sempre simultanei, formano una coincidenza molto rimarchevole: forse instituendo fra essi dei confronti potressimo arrivare a spargere qualche luce su tal quistione. Ragionerò adesso nell'ipotesi che l'abbassamento di temperatura del vapore, quando si dilata, rappresenti esattamente la quantità di potenza che allora apparisce.

Ne conseguirà che quando il vapore non è in contatto coll'acqua, e che quando si fa variare il suo volume, la sua temperatura è esattamente quella che corrisponde al grado di tensione sotto il quale si è formato. Ora tal fatto che io, *a priori*, avea considerato come una delle immediate conseguenze di tal maniera di ravvisare il fenomeno, è stato messo in evidenza, e provato in modo autentico, da una serie d'esperimenti fatti dal sig. di Pambourg (1) e che saranno quanto prima pubblicati in una seconda edizione della sua opera intorno alle macchine locomotive.

Considerata la quistione sotto questo aspetto, diviene molto più facile il calcolare la quantità di azione o di lavoro meccanico che si può ottenere da una quantità di vapore che passa per differenti stati di pressione; poichè si può considerare la sua elasticità come crescente e decrescente sensibilmente in progressione geometrica, a misura che lo spazio che racchiude diminuisce od aumenta.

E dacchè i numerosi sperimenti fatti hanno permesso di compilarne le tavole, e che si assegnino anche leggi rappresentate da formule indicanti la pressione del vapore a misura che ne varia la temperatura, si può, considerando il suo volume e la sua pressione in due stati consecutivi conosciuti, determinare lo sforzo totale che esercita sullo stantuffo di una macchina a vapore per produrre un effetto qualunque espresso in dinamie (tav. VI, fig. 31).

(1) *Teoria delle macchine a vapore*, pag. 105.

Supponiamo adunque che siasi inchiuso in un cilindro $ABCD$, di un metro di sezione, un metro cubico di vapore a $100^0$, e che tal vapore sia contenuto da uno stantuffo $CD$, il cui peso equivalga ad un chilogramma per centimetro quadrato, e dietro il quale siasi fatto il vuoto, locchè rappresenta, ad un dipresso, una pressione eguale a quella dell'atmosfera su tutti i corpi a livello del mare. Supponiamo altresì che l'apparecchio sia disposto in guisa da non poter cedere e da non poter ricevere dal di fuori alcuna porzione di calorico.

Se si aumenta il carico dello stantuffo $CD$, aggiugnendovi successivamente dei pesi per comprimere il vapore, fino a che la sua temperatura si sia alzata di $20^0$, la sua elasticità farà allora equilibrio con una pressione di 2 chil. per centimetro quadrato; e, considerando che il suo volume aumenta di 0,00375 di ciò che era a $100^0$, per ogni grado di temperatuta, lo spazio $ABFE$ che occuperà sarà espresso da

$$\frac{1 + 1 \times 20 \times 0,00375}{2} = 0,5375.$$

Si potrà dunque considerare l'effetto come sensibilmente rappresentato dalla media di tutte le pressioni esercitate dal vapore da $DC$ fino in $EF$ moltiplicata per lo spazio percorso $DE$.

Essendo la pressione di un chilometro in $DC$ e di due chilometri in $EF$, e crescendo in progressione geometrica, indicando con $S$ la somma dei termini, con $n$ il numero dei termini, $l$ l'ultimo, $a$ il primo, e $q$ la ragione, $P$ la pressione media; facendo $n = 100$, locchè basta per ottenere un valore approssimativo di $P$, ed osservando che il valore di $l$, o la pressione del vapore in $EF$, è eguale a 2 chil. per centimetro quadrato, e quella di $a$ che si riferisce a $CD$ eguale ad un chil., avremo per determinare $q$

$$l = aq^{n-1}, \quad q = \sqrt[99]{2} = 1,007$$

$$P = \frac{a(q^n - 1)}{n(q - 1)} = \frac{1(1,007^{100} - 1)}{100(1,007 - 1)} = 1,43;$$

Moltiplicando questo valore per lo spazio $DE$ percorso dallo stantuffo, eguale ad $AD-AE=1-0{,}5375=0{,}4625$ e per 10,000 che rappresenta il numero dei centimetri quadrati contenuti in un metro quadrato, si ottiene

$$1{,}43 \times 0{,}4625 \times 10{,}000 = 6613 \text{ chil.};$$

locchè ci indica che l'effetto teorico ottenuto dallo sviluppo di un metro cubico di vapore compresso da un peso di 2 chil. per centimetro quadrato, che si lascia espandere in uno spazio corrispondente ad una pressione di 1 chil. e ad un abbassamento di temperatura di 20°, è rappresentato da un peso di 6,613 chil. sollevato ad un metro, ossia da $6^{\text{din.}},613$.

Facendo un calcolo analogo per conoscere gli spazj occupati dal vapore, quando si aumenta la sua pressione in modo da far alzare la sua temperatura da 20 in 20 gradi, si troverà.

1.° Che per 140° la pressione in $GH = 3^{\text{chil.}},61$.

$$ABHG = \frac{1+1 \times 40 \times 0{,}00375}{3{,}61} = 0^{\text{m.}},319.$$

$$GE = 0{,}537 - 0{,}319 = 0^{\text{m}},218,\ P = 2^{\text{chil.}},83;$$

e per l'effetto totale,

$$2{,}83 \times 0{,}218 \times 10{,}000 = 6170 \text{ chil.}$$

2.° Per 160° la pressione in $IK$ $6^{\text{chil.}},15$;

$$ABKI = \frac{1+1 \times 60 \times 0{,}00375}{6{,}15} = 0^{\text{m.}},199,$$

$$IG = 0{,}319 - 0{,}199 = 0^{\text{m}}\ 120,\ P = 4^{\text{chil.}},82;$$

e per l'effetto totale,

$$4{,}82 \times 0{,}128 \times 10{,}000 = 5780 \text{ chil.}$$

3.° Finalmente, per 180° la pressione $LM = 9^{\text{chil.}},93$,

$$ABLM = \frac{1+1 \times 80 \times 0{,}00375}{9{,}93} = 0^{\text{m.}},131,$$

$$LI = 0{,}199 - 0{,}131 = 0^{\text{m}},068,\ P = 8^{\text{chil.}},00;$$

e per l'effetto totale,

$$8.00 \times 0{,}68 \times 10{,}800 = 5440 \text{ chil.}$$

Se supponiamo in seguito che quando il vapore spinge lo stantuffo davanti a sè, quando la caldaja è in comunicazione col cilindro, la sua temperatura si abbassi di una quantità proporzionata all'effetto dinamico prodotto, troveremo che, il vapore introducendosi nel cilindro a 100°, e perdendo 20° durante il movimento dello stantuffo, la temperatura alla fine della corsa sarà di 80°, e la pressione di $0^{chil.},485$. La pressione media di $0^{chil.},727$, ossia per l'effetto totale

$$0,727 \times 1 \times 10,000 = 7270 \text{ chil.},$$

valore che si trova a un dipresso classificato secondo la medesima legge delle altre quantità ritrovate, considerando l'effetto prodotto dal vapore a temperature ed a pressioni più alte.

Riunendo tali risultamenti e confrontandoli alla corrispondente elevazione di temperatura avremo il quadro seguente:

| Pressioni in chilogrammi | Temperature reali. | Effetto prodotto in chilogrammi elevati ad un metro. | Differenze. | Temperature corrispondenti all'effetto prodotto. | Differenze. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,48 | 80° | | | | |
| | | 7270 | ..... | 20° | |
| | | | 657 | ...... | 1.80 |
| 1 | 100 | | | | |
| | | | ..... | 18,20 | |
| | | 6613 | | | |
| | | | 443 | ...... | 1,23 |
| 2 | 120 | | | | |
| | | | ..... | 16,97 | |
| | | 6170 | | | |
| 3,61 | 140 | | 390 | ...... | 2,07 |
| | | 5780 | ..... | 15,90 | |
| 6,15 | 160 | | | | |
| | | | 340 | ...... | 0,66 |
| | | 5540 | ..... | 15,24 | |
| 9,93 | 180 | | | | |

In mezzo alle grandi irregolarità di tai confronti, si rileva tuttavia esistere una specie di proporzione indicante che la quantità di forza prodotta resta al dissotto di quella che sarebbe, rappresentata dall'abbassamento di temperatura, e ciò a seconda di una legge decrescente.

Dal che sembra risultare che la dilatazione del mercurio non rappresenti l'effetto dinamico che si può ottenere dall'espansione dei vapori tale quale lo considero in questo luogo. Ma a ciò si può rispondere, che il calorico, il quale innalza la temperatura d'un corpo,

viene impiegato non solamente a far variare il suo volume, ma anche a restituirgli quello che ha perduto per effetto della sua dilatazione.

Supponiamo, in fatto, che s'innalzi la temperatura d'una massa d'aria per esempio di 20°, il suo volume sarà aumentato di $20 \times 0,00375$; ma l'effetto di quest'aumento di volume farà abbassare la sua temperatura d'un certo numero di gradi, ed essendo d'ordinario indefinita la sorgente da cui si attinge il calorico per sovvenire a questi due effetti, ne segue che tal perdita sia tosto riparata. Perciò la quantità di calorico assorbita da un corpo per innalzare la propria temperatura, va soggetta a due leggi distinte, le quali però non sono abbastanza conosciute onde permettere che si stabiliscano confronti fra la scala fittizia delle temperature corrispondenti all'effetto prodotto ed indicato nel quadro di cui sopra, e la porzione di calorico assorbita da un corpo, solamente per farne variare il volume.

È noto che grandissimo può essere lo sviluppo del calorico prodotto dalla compressione d'un corpo, poichè la temperatura dell'aria compressa nel battifuoco pneumatico si innalza abbastanza per accendere l'esca, e il ferro battuto fortemente sull'incudine arriva all'incandescenza; d'altra parte l'abbassamento di temperatura cagionato dalla dilatazione dei gas, può anche produrre un grado di freddo così intenso da congelar l'acqua.

Farò qui fine alle mie considerazioni, le quali forse potranno un giorno contribuire a formare una teoria che spieghi un po' meglio di quanto si fa oggigiorno, le relazioni esistenti fra la generazione della forza e l'uso del calorico. Epperò fino a miglior tempo io mi servirò delle diverse supposizioni da me stabilite per calcolare l'azione del vapore.

Consideriamo adunque una massa di vapore prodotta in una caldaja sotto una pressione equivalente a 3chil.,61 per centimetro quadrato, quasi eguale a quella sotto la quale il s'impiega nelle locomotive e nelle macchine ad espansione, e rappresentato da un metro cubico di vapore saturo d'acqua a 100°.

Abbiamo veduto pag. 256, che la sua temperatura sarebbe allora di 140°, ed il volume *ABHG* ch'essa occupa di 0,319. Quando si supponga che il cilindro *ABCD*, sempre di un metro quadrato di sezione, sia in comunicazione colla caldaja durante tutto il moto dello stantuffo dietro il quale siasi fatto il vuoto, la temperatura del vapore, mentre lo stantuffo percorrerà *AG*, s'abbasserà di 20°, e l'effetto dinamico prodotto sarà rappresentato dalla pressione media corrispondente tra i termini di 140° e 120°, $\times$ *AG*, ossia

$$2,83 \times 0,319 \times 10,000 = 9027^{\text{chil.}}$$

Per le macchine a scatto bisognerà aggiungere a tal quantità l'effetto della dilatazione d'un metro cubico di vapore che passa da 120° a 100°, diminuito del volume che gli ha fatto perdere l'abbassamento di temperatura, oppure

$$1,44 \times (0,4625 - 0,4625 \times 20 \times 0,00375) = 6100^{\text{chil.}}$$
$$9027 \times 6100 = 15,127^{\text{chil.}}$$

Sottraendo da tal qualità la pressione atmosferica, si avrà per le macchine senza scatto

$$9,027 - (0,319 \times 10,000) = 5,837^{\text{chil.}},$$

e per le macchine a scatto

$$15,127 - (0,319 \times 0,462)\ 10,000 = 7,312^{\text{chil.}}$$

Calcolando col metodo ordinario l'effetto delle macchine per confrontarlo a tali risultamenti, avremo per il caso in cui non vi sia nè lo scatto nè la condensazione

$$0,319 \times (36,100 - 10,000) = 8,326^{\text{chil.}};$$

e nel caso in cui si condensi il vapore,

$$0,319 \times 36,100 = 11,516^{\text{chil.}}$$

Se si lasciasse scattare il vapore fino a che la temperatura si abbassasse a 100°, avremmo per il caso in cui non si condensasse:

1.° Come sopra, mentre lo stantuffo percorre *AG*, ed il cilindro comunica colla caldaja . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 8,326$^{chil.}$

2.° Per lo sviluppo del vapore nello spazio *GE*,
6,170 — (0,218 × 10,000) . . . . . . . . 3,990$^{chil.}$

3.° Per lo sviluppo nello spazio *ED*,
6,613 — (0,4625 × 10,000) . . . . . . . 1,988$^{chil.}$

ossia,

$$8{,}226 + 3{,}990 + 1988 = 14{,}304^{chil.}$$

e nel caso in cui si condensasse il vapore

$$14{,}303 + (0{,}319 + 0{,}218 + 0{,}463) \times 10{,}000 = 24{,}304^{chil.}$$

Se la macchina fosse a bassa pressione si avrebbe solamente

$$1 \times 10{,}000 = 10{,}000^{chil.}$$

Ne consegue che facendo astrazione dalle circostanze particolari che variano il regime delle macchine, e ne mutano i risultamenti, come sarebbero la condensazione più o meno completa, gli apparecchi più o meno perfetti, avuto riguardo all'attrito della macchina, ed alle perdite di calorico ecc., il prodotto delle macchine calcolato coi mezzi ordinarii da noi impiegati, e confrontato ai rsultamenti ottenuti adottando il nuovo punto di vista sotto il quale io ho ravvisato i fatti, darebbe le proporzioni seguenti:

Effetto prodotto da 1 metro cubico di vapore a 140° e sotto una pressione di 3$^{chil.}$,61 per centimetro quadrato calcolato secondo

| | Il metodo proposto. | Il metodò in uso. | Relazione. |
|---|---|---|---|
| 1.° Macchine ad alta pressione e con sviluppo e condensazione . . . . . | 15,127$^{chil.}$ | 24,304$^{chil.}$ | 0,622 |
| 2.° Idem senza condensazione . . . . . . . . . . | 7,312 | 14,304 | 0,511 |
| 3.° Macchine ad alta pressione, senza scatto e con condensazione . . . | 9,027 | 11,516 | 0,786 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4.° Idem senza condensazione. . . . . . . . . . . | 5,837 | 8,326 | 0,710 |
| 5.° A bassa pressione per 1 metro cubico di vapore a 100°. . . . . . | 7,270 | 10,000 | 0,727 |

Tai confronti mostrano quanto i risultamenti ai quali io pervengo si allontanino da quelli indicati dalla teoria attualmente ricevuta come atta a calcolare la potenza e l'effetto delle macchine; ma per lo contrario si accostano molto a quelli ottenuti dalla pratica. È da osservarsi che l'abbassamento di temperatura del vapore, mentre produce la forza dilatandosi gradatamente nel recipiente chiuso, o sfuggendo dall'orificio del serbatojo in cui è compresso, è un fatto riconosciuto non solamente dagli scienziati, ma ben anche da tutti i costruttori e pratici delle macchine. È noto che son tutti d'accordo nel dire che è necessario mantenere il calore del cilindro nelle macchine a scatto per ottenere quell'effetto sul quale si può far conto. Gli operai sanno per esperienza che per introdurre l'olio nel cilindro all'oggetto di mantenerlo in buono stato basta aprire la chiave che fa comunicare il serbatojo dell'olio coll'interno del cilindro, quando lo stantuffo delle macchine a bassa pressione o a scatto è vicino a giungere al fondo.

Finalmente l'abbassamento subitaneo di temperatura del vapore quando sfugge nell'aria, circostanza che adesso si mette a profitto per utilizzarne l'elasticità e la potenza, dimostra che in questo caso lo sforzo che opera all'indietro contro gli apparecchi da cui sfugge, o la celerità che comunica all'aria ambiente formano un equivalente della perdita di calore che prova.

Durante il moto dello stantuffo della macchina, e quando il cilindro continua a ricevere il vapore, la pressione e la temperatura di questo si abbassano come quando la comunicazione essendo intercetta, si tende in forza della sua elasticità. È probabile allora che il vapore del cilindro riceva il calorico da quello che è contenuto nella caldaja, e che questo a vicenda attragga il calorico contenuto nell'acqua e in tutti gli apparecchj metallici coi

quali si trova in contatto: ed è per questo che un termometro che si mette circondato di mercurio nella grossezza del metallo della caldaja di una macchina ad alta pressione (1) si abbassa sensibilmente nel momento istesso in cui il vapore ne sfugge per riempire il cilindro.

D'altronde è noto che il raffreddamento concomitante l'espansione di un gas da un serbatojo in cui è compresso si comunica tanto alla porzione di gas restante nel serbatojo, quanto al getto medesimo, il quale essendo già fuori dell'orificio, ha già subìto tutti gli effetti della dilatazione.

Quando il vapore sfugge nell'aria libera dalla valvola di sicurezza, la sua temperatura, dapprima molto elevata, si abbassa tanto e sì prontamente che si prova una sensazione di freddo accostando la mano all'impetuosa corrente che allora produce; ma si deve notare che se la sua tensione ed in conseguenza la sua velocità è nulla, si provano tutti gli effetti di calorico relativi alla sua temperatura e non si può avvicinarvisi senza essere abbruciati, locchè indicherebbe che non producendo allora alcun effetto meccanico e potendo d'altronde compensare le proprie perdite mediante il contatto cogli strati vicini, il calore può conservare la temperatura corrispondente alla pressione atmosferica sotto la quale si è formato.

Quando si noti che l'effetto ottenuto dal vapore nelle macchine, impiegandolo come d'ordinario si suole, è rappresentato da un abbassamento di temperatura all'un di presso di 20° equivalente al trentesimo circa del calorico impiegato per ridurre a vapore l'acqua necessaria alla sua formazione, non farà meraviglia il sapere che la poca quantità di combustibile necessaria per ridurre il vapore a maggior grado di tensione sia sfuggita ai calcoli delle osservazioni. Parecchie cause possono contribuire ai risultamenti della combustione. Si sa che è tanto più perfetta quanto più alta è la temperatura del focolare, e che l'eccesso di calorico del vapore teso contribuisce a mantenere calde le pareti del fornello e del focolare stesso.

(1) Tale esperienza venne fatta nel 1822 sulla macchina ad alta pressione del signor Perkins, dal signor Babbage, di Londra, che in quel tempo me la comunicò.

Sembrami pertanto evidente che dall'istante in cui una caldaja produce il vapore che vien consumato da una macchina, a misura che si forma, una parte del calorico viene impiegato a mantenerne la temperatura nello stantuffo a costo della formazione di una nuova quantità di vapore, e sembrami che a tal cagione debbansi ascrivere gli sbagli che generalmente occorrono nel calcolo della forza delle macchine. È per questo che il sig. Pambourg nell'opera da lui testè pubblicata sulla *Teoria delle macchine a vapore* (Parigi 1839), insiste in modo singolare su questo fatto, che cioè la pressione del vapore sullo stantuffo dei cilindri è indipendente dalla pressione misurata dalla valvola di sicurezza della caldaja, e non dipende che dalla quantità di vapore consumato in un dato tempo.

La grande celerità che si dà agli stantuffi delle macchine locomotive richiede consumo considerevole di vapore ad un alto grado di tensione e di temperatura. Fortunatamente le caldaje e tubi generatori posson produrre una quantità di vapore che d'ordinario supera tutti i bisogni, in guisa che l'eccesso di produzione durante il corso compensa ben presto le perdite derivanti dall'abbassamento di temperatura del vapore. In fatto ho rilevato che le macchine non sviluppano tutta l'intensità della loro potenza se non quando il vapore durante il corso solleva violentemente la valvola di sicurezza.

## § II. *Confronto del vapore d'acqua coi gas permanenti e gli altri corpi che possono venire impiegati come intermediarj per servire alla generazione del moto.*

I gas permanenti differiscono essenzialmente dai vapori in ciò che questi ultimi tendono a trasmettere immediatamente a tutti i corpi vicini ed a quelli in contatto, tutto il calorico e per conseguenza tutta la forza meccanica di cui sono depositarj; mentre i gas permanenti ne conservano la maggior parte, e non abbandonano, nelle medesime circostanze, che una certa porzione del

loro calorico. Un metro cubico d'aria ed un metro cubico di vapore, che non potessero perdere nè acquistare alcuna parte di calorico mediante il contatto dei corpi circostanti, e che si comprimessero per mezzo di stantuffi, caricandoli entrambi del medesimo peso, potrebbero dilatandosi alzare quei pesi in modo da ricondurre gli stantuffi esattamente alla posizione di prima, qualunque fosse d'altronde lo spazio percorso nell'uno e nell'altro caso. Ma se quell'aria e quel vapore potessero trasmettere il calorico ai corpi circondanti in modo da non conservare che la prima temperatura, le cose cambierebbero di aspetto: la temperatura del vapore si abbasserà rapidamente, vi sarà acqua ridotta, ed il vapore rimasto nello stantuffo tornerà al medesimo grado di tensione e di temperatura come dapprima: al contrario i gas permanenti conserveranno un' esistenza indipendente dalla temperatura, e potranno riprodurre, dopo un lasso indeterminato di tempo, una certa quantità della forza che ha servito a comprimerli e di cui si sono resi depositarj coll'atto stesso della compressione.

Per chiarire ciò con un esempio, supponiamo due cilindri muniti di stantuffi, aventi ciascuno un metro cubico di capacità, e supponiamo che nell'uno siasi chiuso il vapore e nell'altro l'aria, entrambi alla pressione ordinaria dell'atmosfera.

Se vengono caricati i due stantuffi in modo che esercitino sull'aria e sul vapore una pressione duplice di quella che esercitava l'atmosfera, la temperatura del vapore si alzerà istantaneamente a $121^\circ,5$, il suo volume diventerà,

$$\frac{1 + 1 \times 21,5 \times 0,00375}{2} = 0,54$$

di ciò che era prima, e i $21^\circ,50$ eccedenti la temperatura di cui era provveduto, non tarderanno a comunicarsi ai corpi circondanti. Lo stantuffo avrà percorso uno spazio di

$$1 - 0,54 = 0^m,46$$

il volume del vapore sarà ridotto a $0^m,54$, la sua tem-

peratura si sarà abbassata di 21°,5, e sarà tornata come la sua elasticità al punto in cui erano prima della compressione. Nessuna parte della forza necessaria per comprimere il vapore potrà più essere riprodotta, e, secondo l'opinione che ho già esternato, la forza sarà rappresentata per intero dal calorico sviluppato al momento della compressione, vale a dire da 1 metro cubico di vapore a 100° aumentato di 21°,5.

Anche la temperatura dell'aria chiusa nel secondo cilindro si alzerà d'una certa quantità, di cui una parte rappresenterà la forza che ha servito a comprimerla, e non tarderà e trasmettersi ai corpi circondanti. Ma un'altra porzione di tal calorico sarà stata impiegata a modificare l'esistenza dell'aria, ed a renderla atta a restituire una parte della forza della quale la si era fatta depositaria: tal porzione di forza sarà rappresentata dalla somma di tutti i pesi alzati dallo stantuffo, quando si lascerà all'aria la libertà di riprendere il suo primiero volume, fino a che l'elasticità di quella torni a mettersi in equilibrio coll'atmosfera.

La facilità colla quale si trasmette il calorico rende molto difficile la valutazione della quantità che se ne sviluppa nella compressione dell'aria. Conosciuta tal quantità, si potrebbe inferirne il rapporto che passa tra l'effetto utile che si può ottenere da una massa d'aria compressa e l'effetto perduto per causa del suo abbassamento di temperatura.

Non si ha finora grande interesse a dimostrare tal fenomeno, che era restato senza relazione coi mezzi impiegati per applicare il calore alla produzione della forza; ma si può sperare che il nuovo uso a cui l'industria vuol applicare l'aria dilatata dal calore per servirsene invece del vapore, ci metterà sul sentiero di chiarire tale quistione.

I gaz non sono i soli corpi che possono essere impiegati come intermediarj fra il calorico e la potenza meccanica. Tutti i corpi della natura possono fare questo uficio, poichè tutti i corpi risentono l'influenza del calore. Prendiamo per esempio l'acqua che vien considerata come il corpo meno soggetto a pressione, ed

esaminiamo se tal qualità non derivi dalla di lei grande capacità pel calorico, avuto riguardo alla sua dilatazione.

Un metro cubico di acqua, la cui temperatura si alzi di un grado, si dilaterà di 0,000433 del suo primo volume. Tal quantità di calorico basterebbe a ridurre in vapore a 100°

$$\frac{1000}{6{,}50 \times 100} = 1^{\text{chil.}},54$$

che produrrebbe un volume di

$1{,}54 \times 17000 = 2618$ metri cubici di vapore a 100°.

Abbiamo a pag. 257 che l'effetto ottenuto da un metro cubico di vapore alzato ad una temperatura di 20° corrisponde circa a 7,000 chil. d'acqua innalzata ad un metro; d'onde segue che i 2,618 metri cubici di vapore a 100° potrebbero bastare ad alzare $2{,}618 \times 7 \times 5 = 91{,}630$ metri cubici d'acqua ad un metro.

Ma un grado di temperatura facendo dilatare l'acqua di 0,000433 del suo primo volume, farà alzare lo stantuffo dietro cui è contenuta di $0^{m},000433$, d'onde consegue che per ottenere col mezzo della pressione dell'acqua lo stesso effetto come se si fosse impiegato il calorico a produrre il vapore, sarebbe stato d'uopo caricare lo stantuffo di un peso progressivamente decrescente, il cui termine medio sarebbe stato di

$$\frac{91630}{0{,}00043} = 21{,}300{,}000 \text{ metri cubici d'acqua,}$$

pressione che supera di molto i nostri mezzi di osservazione.

Un calcolo analogo mostrerebbe come tutti gli altri corpi, per esempio il ferro, possano divenire intermediarj del calorico e produrre consimili effetti: si è già qualche volta tentato di usare del ferro quando si volevano sforzi tali che non avrebbero potuto essere prodotti con alcun altro mezzo, e fu in questa maniera che le muraglie laterali di una galleria del Conservatorio d'arti

e mestieri le quali si scostavano l'una dall'altra vennero avvicinate è rimesse nella prima posizione.

A tale affetto il sig. Molard che era allora conservatore di tale stabilimento, e che è l'autore di tale ingegnosa invenzione, fece praticare nei muri dei fori, l'uno contro l'altro: s'introdussero nelle aperture egualmente distanti l'una dall'altre forti barre di ferro aventi una chiave all'estremità: venne riscaldata la metà delle barre lasciando sempre una barra fredda fra due riscaldate avendo cura di restringere le chiavi delle barre a misura che s'allungavano. Tale prima operazione cominciò a determinare un movimento leggiero nei muri dell'edificio: si fece allora altrettanto sulla seconda serie delle barre e così di seguito fino al perfetto ristabilimento della perpendicolarità dei muri.

L'azione del ferro non fu qui la stessa come nel caso precedente: la sua coesione dovette agire egualmente che la sua dilatazione, e la prima di queste proprietà è quella che avrebbe un ostacolo molto minore di quello che sarebbe stato necessario per opporsi al moto di contrazione conseguente al suo raffreddamento.

Abbian qui fine le mie riflessioni intorno ad un oggetto del quale ognuno saprà valutare l'importanza. Del calorico che viene impiegato dall'industria a produrre la forza, ed agli usi domestici, una piccola parte soltanto viene utilizzata: un'altra quantità ben maggiore, sufficiente a creare immensi valori e ad aumentare così la ricchezza nazionale, va assolutamente perduta: questo è un vizio che, a me sembra, dovrebbesi correggere dopo i progressi già fatti dalle scienze, se gli uomini specialmente dedicati a tali studj vorranno rivolgersi a questo scopo.

## § III. *Dell'impiego del vapore nelle diverse macchine che sono in uso nell'industria.*

In qualunque modo si consideri l'azione esercitata dal vapore sulle macchine per metterle in moto, bisogna sempre ridursi a considerare la quantità d'azione svi-

luppata dalle macchine come corrispondente in giusta misura alla quantità di vapore consumato.

La differenza di stato e di temperatura del vapore dal momento in cui entra nel cilindro al momento in cui n'esce contribuisce anche molto, come abbiamo veduto, alla produzione del moto. Non potrassi dunque valutare esattamente la quantità del lavoro sperabile dalle macchine se non mediante la combinazione di quelle due condizioni simultanee, considerando la massa del vapore, la sua tensione e la sua temperatura, mentre agisce sugli stantuffi.

La miglior maniera di utilizzarlo, consiste evidentemente nell'impiegarlo nel maggior grado di tensione e di temperatura possibile: ma atteso che la difficoltà di chiuderlo in recipienti, e d'impedire che sfugga, aumenta colla sua tensione, diventa tanto più necessario il costruire la macchina con precisione quanto più caldo e quanto più teso dev'essere il vapore che vuolsi impiegare. Tal precisione di lavoro, da cui dipende la forza della macchina, dovrà essere pertanto la cura più speciale del costruttore.

Coi mezzi di esecuzione che l'arte possiede al dì d'oggi, non si possono costruire macchine atte ad impiegare utilmente il vapore ad una tensione maggiore di 5 o tutto al più di 6 atmosfere. Si giugnerà senza dubbio ad allargare di molto questo limite; ma finora il si è tentato invano.

Oltre gli ostacoli che l'imperfezione delle macchine oppone al buon impiego del vapore ad alte pressioni, ve ne sono altri relativi all'eccesiva perdita di calore procedente dall'elevazione di temperatura che tien dietro ad una grande tensione.

Molte esperienze fatte per valutare tal perdita hanno condotto a questo risultamento: che il vapore a 100° chiuso in recipiente di latta o di ferro fuso esposto all'aria subisce un raffreddamento espresso dalla condensazione di 1 chil.,80, del medesimo vapore all'ora e per ogni metro quadrato di superficie esposta all'aria.

La perdita di calorico è tanto più grande, quanto più il vapore è teso; e producendo l'effetto di determinare

la condensazione di una certa quantità di acqua nei cilindri, quest'acqua imbarazza il moto degli stantuffi, ne rende più difficile il giuoco, e nuoce per conseguenza al buon effetto della macchina.

Al contrario le macchine a bassa pressione si trovano in condizione migliore quando s'impiega il vapore meno teso. Trovandosi allora la pressione dell'atmosfera eguale ed anche superiore a quella del vapore chiuso negli apparecchj, non vi può essere più perdita. Sono ben anche assai minori le perdite derivanti dall'abbassamento di temperatura del vapore attesa la facilità di riscaldare i ridotti in cui si allogano le macchine. Gli operai s'avvezzano d'altronde facilmente a sopportare un forte grado di calore senza esserne incomodati.

Qualunque sia il sistema delle macchine e il modo di agire del vapore per metterle in moto, la quantità del lavoro è sempre relativa al grado di tensione sotto il quale il vapore è stato ammesso nei cilindri, e a quello che gli resta nel momento in cui si cessa di utilizzarlo lasciandolo sfuggire o condensandolo.

L'industria usa tre specie di macchine, che vogliono essere studiate separatamente, cioè le macchine ad alta pressione, le macchine a bassa pressione e quelle ad alta pressione ed a scatto, con o senza condensazione.

Dietro ciò che ho detto a pag. 264 l'abbassamento di temperatura del vapore durante il moto dello stantuffo diminuirebbe l'effetto della macchina ove non vi si provedesse con un grande eccesso di vapore da somministrarsi dalla caldaja: questo è il caso ordinario delle macchine locomotive.

Supponendo dunque che la potenza della macchina sia rappresentata da una pressione costante eguale alla elasticità del vapore durante il moto dello stantuffo, e diminuita dalla pressione dell'atmosfera, sarà facile calcolare la quantità di lavoro che può somministrare in un dato tempo.

Il lavoro delle macchine viene d'ordinario assomigliato a quello del numero dei cavalli ai quali il si suppone equivalente. Nelle macchine di Watt, a bassa pressione ed a condensazione, che sono le più anticamente cono-

sciute, gli ingegneri inglesi calcolano la forza di un cavallo come rappresentata da un'area o superficie circolare di 30 pollici inglesi, ossia un cerchio di $5^{pol.},47$ di diametro con una celerità di 3 piedi inglesi per secondo. Perciò una macchina di 30 pollici inglesi di diametro rappresenta una forza di 30 cavalli.

Onde valutare il consumo del vapore e l'effetto di una tal macchina noteremo che, essendo il piede inglese eguale a $0^{m},3048$, la superficie di un cerchio di 30 pollici di diametro equivalerà a $\left(\frac{0,3048 \times 2,50}{2}\right)^2 \times 3,14$ $= 0,4553$ metri quadrati, e la capacità dello stantuffo corrispondente all'unità di celerità, a

$$0,4553 \times 0,3048 \times 3 = 0,4164 \text{ di metro cubico.}$$

La pressione del vapore a 100°, come il s'impiega d'ordinario nelle macchine di Watt, avendo una tensione rappresentata dal peso di 1 chil. per ogni centimetro quadrato, esercita uno sforzo eguale sulla faccia dello stantuffo quando si è fatto il vuoto di dietro.

Supponendo che il vapore fosse intieramente condensato e il vuoto perfetto, la pressione sullo stantuffo sarebbe eguale a 4,553 chil., e la forza del cavallo sarebbe rappresentata da

$$\frac{4553 \times 0,3048}{30} \times 3 = 138^{chil.},60 \text{ innalzati ad un metro.}$$

Ma la condensazione del vapore non produce mai un vuoto perfetto: l'attrito delle diverse parti della macchina dissipa sempre una parte della sua forza: la sua temperatura si abbassa necessariamente nell'atto di dilatarsi passando dagli orifici per entrare nello stantuffo; infine vi è sempre calore perduto da tutte le superficie esposte all'aria, la cui temperatura è necessariamente meno alta di quella del vapore: perciò l'effetto utile che se ne ottiene in realtà è sempre molto inferiore a questa valutazione.

Del resto i meccanici che non sono d'accordo su questo punto, valutano la forza del cavallo di vapore, gli uni a 75, gli altri ad 80 a 90 e fino a 100 chil., alzati ad

1 metro per secondo (1). È però evidente che tali valutazioni sono più o meno vere secondo che le macchine

(1) Credo a tal proposito d'inserire qui, per intiero, una lettera ricevuta dal signor A. Schlumberger della casa di Schlumberger Kachlin e comp. relativa ad alcune questioni che gli ho dirette intorno all'impiego ed all'uso del vapore a Mulhouse: essendo segretario della società industriale di una città la quale per la sua posizione ha un grande interesse a ben utilizzare il combustibile di cui fa un enorme consumo, il signor Schlumberger per la sua esperienza, per la sua istruzione e per i suoi lumi, poteva meglio d'ogni altro darmi, con cognizione di causa, un fondato parere sulle diverse quistioni che ho creduto opportuno sottomettere al suo buon giudizio.

« Voi mi dirigete sette quistioni:

» 1.° Ciò che s'intende a Mulhouse per la forza di un cavallo di » macchina a vapore?

» Da lungo tempo si è qui rinunciato al metodo di prendere il diametro degli stantuffi, e la loro velocità come elemento per calcolare tal forza; ciò conduceva a calcoli non bene intelligibili a tutti: noi abbiamo un istromento semplice ed esatto per misurar i grandi e piccioli motori. (Il freno del signor Prony modificato. Vedi *Bullettino* n.° 7, pag. 14 a 48 della Società industriale di Mulhouse, e n.° 8, pag. 250.) Si è generalmente adottato qui per forza di un cavallo, 100 chil. alzati ad un metro per secondo. Però i costruttori delle macchine si limitano da qualche tempo ad ammettere 75 chil. in luogo di 100 (Vedi *Manuale di meccanica pratica* di Arturo Morin, 1837, p. 163). E a meno che non si faccia una speciale convenzione con essi, ritengono sempre la forza di un cavallo di 75 chil.: ben inteso sempre ad una pressione data, la quale nelle macchine di Voolf, dette a media pressione, generalmente da noi usate, è di 2 1/2 a 3 1/2 atmosfera al dissopra della pressione atmosferica. Molte esperienze sono state fatte col freno negli ultimi anni, tanto sopra i motori idraulici che sopra i motori a vapore (V. *Esperienze sulle ruote idrauliche* di Arturo Morin, 1838, e gli ultimi numeri dei bollettini della società industriale di Mulhouse), ed è caso rarissimo che nasca la minima contestazione dopo che si ha un mezzo tanto semplice per misurare la forza dei motori.

» 2.° Qual è il consumo di carbon fossile per ora, e per forza di cavallo?

» Ciò dipende molto dalla qualità del carbone. Noi ne abbiamo qui diverse specie dalle più cattive a 2 fr. per 100 chil. fino alle migliori di Rive-de-Giers, Saint-Étienne e Sarrebrück di 3 fr. 50 c. fino a 5 fr. per 100 chil. Si ammette generalmente che per una macchina a vapore a media pressione della forza di 10 cavalli, e al dissopra fino a 50 e 60 cavalli, munita di buone caldaje e tutto in buon stato, occorra almeno 5 chil. di carbone di qualità media per ora e per forza di cavallo (di 100 chil. a 1 metro in un secondo). Fino al giorno d'oggi nessuna delle promesse dei costruttori, i quali affermavano che le loro macchine non ne avrebbero impiegato che 2 1/3 o 3 chil. per ora, si è realizzata.

» 3.° Quanti chil. d'acqua può far evaporare un chil. di carbone nelle buone caldaje?

» Ciò dipende ancora dalla qualità del carbon fossile: ma nelle grandi caldaje disposte sopra un fornello di ben intesa costruzione pirotecnica, noi non abbiamo ottenuto nelle esperienze ripetute più

sono state più o meno ben stabilite, secondo la maniera con cui fanno le loro funzioni. V'è una folla di cause che influiscono sull'andamento e sulla quantità di lavoro che

» volte e più giorni di seguito che 5 1/4 od al più 5 3/4 chil. d'acqua
» evaporata per ogni chil. di carbone, qualità di Rive-de-Giers, Saint-
» Étienne o di Sarrebrück (V. *Bollettino* n.° 1, della società industriale
» di Mulhouse, pag. 18). Voi troverete nel bollettino n.° 2, pag. 61 e
» seg. che se ne è ottenuto più di 7 chil., ma venne in seguito pro-
» vato che nel bollimento usciva dell'acqua a traverso ai tubi del va-
» pore. Molti altri saggi, riferiti nei numeri seguenti, non hanno dato
» che 4, 5 ed al più 5 3/4 chil.

» 4.° Qual'è la differenza della facoltà evaporante dei carboni fos-
» sili delle diverse qualità confrontate coi loro prezzi?

» Il valore calorifico dei combustibili in generale, almeno a Mul-
» house, sta a un di presso in proporzione coi prezzi.

» 5.° Qual'economia si trova nell'impiegare le macchine a due ci-
» lindri dette di Woolf?

» L'economia di 15, 20 ed anche qualche volta 30 per 100 sul com-
» bustibile fa preferire tali macchine, quantunque la loro costruzione
» sia più complicata e la loro manutenzione più costosa di quella
» delle macchine a bassa pressione chiamata di Watt. Quelle fatte
» sul sistema di Watt che noi avevamo nel nostro paese sono state
» tutte cambiate. Da qualche tempo si cominciano a fare macchine
» ad alta pressione di 5, 6 ed anche di 8 atmosfere al dissopra della
» pressione esteriore, con un solo cilindro con scatto del vapore:
» ma in quanto all'impiego del combustibile, esse non hanno recato
» alcuna economia superiore a quella delle macchine del sistema di
» Woolf a due cilindri, ed alla media pressione di 3 a 5 atmosfere,
» sebbene la teoria indicasse che le macchine a scatto dovessero
» condurre a migliori risultamenti.

» 6.° A qual pressione il vapore può essere impiegato?

» Nelle macchine del sistema di Woolf a due cilindri e a conden-
» satore, la pressione varia da 2 fino a 5 e 6 atmosfere al dissopra
» della pressione esteriore. Il vuoto nel condensatore, è di $0^{m},35$
» a $0^{m},70$, secondo che si lascia entrare più o meno acqua fredda,
» e che la condensazione si faccia più o meno bene. In una delle
» nostre macchine a vapore, il barometro comunicante col conden-
» satore indica quasi costantemente $0^{m},62$ a 0,65 di vuoto.

» 7.° Non si è ancora notato che la quantità di acqua evaporata,
» quando si produce il vapore teso, sia più o meno considerevole di
» quando la produzione si fa a pressione ordinaria: ma quando si
» vuol ottenere vapore a forte tensione, p. e. a 8 a 10 atmosfere, ed
» anche più, s'incontra nella pratica in grande una quantità d'incon-
» venienti che obbligano a rinunciarvi, perchè i mezzi di evitarli non
» sono abbastanza perfetti.

» I bollettini n.° 42 e 43 della nostra società industriale contengono
» notizie sulle macchine a vapore che devono essere per voi impor-
» tanti; in diversi altri bollettini sono anche riferiti alcuni saggi sul
» freno, ed alcune applicazioni dell'aria calda per alimentar i foco-
» lari: articoli che io vi esorto a léggere, e che potranno esservi utili
» per l'opera che divisate di pubblicare.

» Desidero che le notizie che vi ho date corrispondano a ciò che
» volevate conoscere ecc.

» J.-A. Sclumberger. »

somministrano le macchine e che sono indipendenti dal fatto e dalla volontà del costruttore: perciò si suole nei contratti indicare la forza delle macchine a bassa pressione secondo il sistema di Watt, determinando il diametro del cilindro, senza far menzione della sua velocità: perchè una delle condizioni, considerate finora come essenziali alla loro costruzione ed impiego, si è che tal celerità non si discostasse dai tre piedi inglesi, ossia un po' meno di un metro per secondo.

Sarebbe cosa più naturale, ora che non si può più stare a queste quantità approssimative, e che è necessario l'impiegare una unità più esatta, l'indicare la forza della macchina accennando il numero dei metri cubici di vapore che può produrre e consumare in un dato tempo, come anche il grado di tensione col quale vien introdotto nello stantuffo e quello che gli rimane n'esce, quando sia che si sparga nell'atmosfera, o che la sua elasticità sia attutita per effetto della condensazione: tali elementi bastano per valutare in dinamie la forza e la quantità di lavoro che può produrre.

Il consumo di una macchina di Watt della forza di 30 cavalli essendo eguale a $0^{m},4164$ cubi di vapore per secondo (vedi pag. 271), ne segue che la forza di un cavallo è rappresentata da poco più di un mezzo piede cubico,

$$\frac{0,4164}{30} = 0^{m3},01388,$$

ossia 50 metri cubici di vapore all'ora; ciò che rappresenta in numero tondo 30 chil. d'acqua. Tal massa di vapore, se fosse impiegata intieramente a produrre un effetto utile, rappresenterebbe una quantità di lavoro di 500 dinamie; ma essendosi veduto aver l'esperienza dimostrato che non si può calcolar se non sopra uno sforzo valutabile per termine medio a 80 chil., con una celerità di un metro per secondo, la vera potenza sarà espressa da

$$\frac{80 \times 3600}{1000} = 388 \text{ dinamie.}$$

Dietro le osservazioni da me fatte e riferite a pag. 248 sulla forza dei cavalli nelle condizioni da me indicate, si può colcolare che il loro sforzo ammonti per termine medio a 53,50 e che il risultamento della giornata sia di 1,058 dinamie: donde segue che la forza del cavallo non sia che due terzi di quella della macchina misurata direttamente sullo stantuffo, indipendentemente dalla celerità dei due motori, e che la macchina può fare la giornata del cavallo lavorando per

$$\frac{1058}{288} = 3 \text{ ore, } 40 \text{ minuti.}$$

Una macchina a vapore del sistema di Watt, consuma 6 chil. al più di carbon fossile per ora e per cavallo; e dacchè l'uso di tali macchine, salve alcune eccezioni volute da circostanze particolari, non è molto esteso se non in località nelle quali siavi facilità di procurarsi il carbon fossile a prezzo moderato, si può considerare che i 6 chil. di carbone minuto in ragione di 20 fr. per tonnellato costeranno $0^f, 12^c$.

Per valutare la spesa totale della macchina, bisogna aggiungere a tal cifra l'interesse del denaro impiegato nell'acquisto, la pigione del locale, le spese di manutenzione, le riparazioni giornaliere, l'ammortizzamento, il salario del riscaldatore meccanico, ecc. Tutte queste spese possono ascendere annualmente a 7,500 fr. per una macchina a 30 cavalli, ciò che può equivalere ad un aumento di spesa di 4 a 6 cent. per ora e per cavallo: in guisa che la dinamia nelle condizioni da me esposte verrebbe a costare

$$\frac{0,17}{288} = 0^f, 0006,$$

cioè l'ottavo circa di ciò che costerebbe con motori animati.

Le macchine nelle quali s'impiega dapprima il vapore ad alta pressione, che si condensa dopo avergli lasciato perdere la tensione, sono le più complicate, ma nello stesso tempo le più vantaggiose di tutte. Voolf è il primo che abbia applicato al vapore codesto principio. Il suo ap-

parecchio è composto di due cilindri *ABCD*, *EFGH* paralelli (tav. VI, fig. 32) di cui l'uno *ABCD* ha una capacità più grande di quella dell'altro, d'ordinario nella proporzione di 4 ad 1.

Il vapore viene dapprima introdotto nel piccolo cilindro al dissopra dello stantuffo *IK* nello stesso momento in cui, dopo aver fatto il suo moto da *C* in *A*, lo stantuffo sta per tornare da *A* in *C*. In quel momento il meccanismo della macchina fa aprire in *D* uno spiraglio che mette il cilindro *ABCD* in comunicazione con *EFGH*. Il vuoto viene allora operato nella parte *LMGH* del cilindro, che è stata messa nel medesimo istante in comunicazione col condensatore.

Al principio del movimento, la pressione sullo stantuffo in *K* è nulla, perchè il vapore è egualmente teso di sopra e di sotto dello stantuffo: al contrario sullo stantuffo *LM* la pressione è la stessa che nella parte di cilindro *IKCD*. Ma a misura che *IK* progredisce verso *CD*, *LM* procede verso *GH*, e lo spazio *EFLM* aumenta di una quantità 4 volte più grande di quella di cui *IKCD* diminuisce: in guisa che la pressione del vapore sopra *IK* aumenta, e quella sopra *LM* diminuisce durante il movimento degli statuffi da *I* in *C* e da *L* in *H*. Quando gli stantuffi sono arrivati in *DC* ed in *HG*, la pressione sopra *IK* è la maggiore, e quella sopra *LM* la minore possibile.

L'insieme di queste pressioni, dietro ciò che abbiamo detto, non è facile a calcolarsi. Il vapore, riempiendo il cilindro *ABCD*, si raffredda, locchè tende a diminuire la sua tensione ed a condensarne una parte: ma atteso che allora sta in comunicazione colla caldaja, una parte di tali perdite viene ben tosto riparata dal nuovo vapore che vi affluisce, in virtù dell'eccedenza di pressione, e dal calore somministrato dai cilindri e dai loro inviluppi. Da un'altra parte, all'istante in cui lo stantuffo *IK* è arrivato al fondo, e in cui il vapore contenuto in *IKCD* è messo in comunicazione col cilindro *EFGH*, il vapore preme lo stantuffo *LM* soltanto in forza della elasticità derivante dalla sua dilatazione; e si vede ben chiaro che il raffreddamento del vapore

in queste diverse fasi non permette che eserciti sugli stantuffi, durante il tragitto nei cilindri, tutta la pressione che viene indicata dal calcolo diretto.

Tali macchine hanno l'inconveniente d'esser complicate, e di moltiplicar le superficie esposte all'aria. Si comincia al dì d'oggi a sostituirvi macchine ad un solo cilindro, nel quale si lascia entrare il vapore con tutta la tensione che ha nella caldaja, durante un quarto, un terzo, o qualunque altra frazione del corso dello stantuffo: dopo di che si chiude la comunicazione e si lascia che il vapore perda la sua tensione sinchè lo stantuffo giunga al fondo, condensandolo o lasciandolo sfuggire.

Sembra allora fuori di dubbio che durante questo movimento debba prodursi dell'acqua a cagione dell'abbassamento della temperatura, e della perdita di calorico dalle superficie degli apperecchj; ma la maggior parte resta probabilmente nello stato vescicolare e sotto questa forma, o passa nel condensatore o si spande nell'aria. Del resto tali congetture sono appoggiate alle osservazioni di tutti quelli che fanno uso delle macchine a scatto, i quali ben sanno quanto gli effetti ottenuti restano al dissotto di ciò che la teoria sembrerebbe indicare.

Tanto se il cilindro comunica colla caldaja, quanto se il vapore agisce soltanto scattando in forza dell'elasticità, la pressione del vapore sugli stantuffi è costantemente inferiore a quella indicata dal calcolo (1); in guisa che, per ottenere in pratica il massimo effetto utile, è d'uopo lasciar entrare nei cilindri una quantità di vapore che sorpassi sempre quella indicata dal calcolo diretto delle tensioni.

I costruttori, che son immedesimati con tutte queste difficoltà, hanno cercato di superarle alzando la temperatura degli apparecchj nei quali agisce il vapore. Per giugnere a tale scopo hanno fatto circolare il vapore in doppj inviluppi intorno ai condotti ed ai cilindri, per mantenervi un calore che potesse supplire a quello perduto

(1) *Teoria della macchina a vapore*, di Guynneau di Pambourg, pag. 24.

dal vapore durante il lavoro: ma atteso che aumentavano l'estensione delle superficie esposte all'aria, ed atteso che, se la temperatura e la tensione del vapore venivano mantenute più alte nei cilindri, s'abbassavano d'altrettanto negl'inviluppi, si è riconosciuto infine che tal metodo, senza offrire alcun vantaggio, complicava la costruzione delle macchine, e vi si è rinunciato.

Quali che siano le disposizioni adottate, è evidente che l'effetto del vapore nelle macchine, fatta astrazione dalle perdite inerenti al sistema usato, è sempre relativo allo stato in cui il vapore si trova quando comincia ad agire sullo stantuffo, confrontato con quello in cui si trova quando il si lascia sfuggire nell'aria, o il si condensa; e basta che queste due circostanze siano simili perchè gli effetti siano i medesimi in tutti i casi.

Sarebbe assai difficile il valutare in numeri la quantità di potenza meccanica che possono somministrare le macchine ad alta pressione, a scatto, con o senza condensazione. Il calcolo indica che il vapore a 140° compresso da un peso di $3^{chil.}$,61 per centimetro quadrato, il quale venisse impiegato in tale stato senza toglierne la tensione facendo il voto dietro lo stantuffo, dovrebbe produrre un effetto alquanto superiore a quello che si otterrebbe se la sua temperatura non fosse che a 100°: e che, lasciandolo scattare fino a che la sua pressione fosse eguale a quella dell'atmosfera, si altererebbe ancora, per effetto dello scatto, una quantità di lavoro o a un dipresso eguale a quella già ottenuta, in guisa che una macchina ad alta pressione a scatto e a condensazione, nella quale s'impiegasse il vapore teso da 4 atmosfere, dovrebbe produrre un effetto doppio di quello che si otterrebbe da una macchina di Watt colla medesima quantità di vapore.

Tal risultamento è il meno esagerato fra tutti quelli indicati dai metodi comunemente in uso per calcolare la potenza meccanica d'una quantità determinata di vapore ad un'alta pressione: e tuttavia tal risultamento è ancora superiore d'assai a ciò che si ottiene in pratica poichè il signor Schumberger (vedi nota a pag. 273) non valuta che al venti per cento circa l'economia del vapore prodotta dalle macchine di Woolf sopra quelle di Watt.

Eppure non si può attribuire tal deficienza nè alle perdite di vapore, nè al raffreddamento delle superficie, nè tampoco alla perdita di elasticità e di calore del vapore, conseguenza necessaria della sua entrata nei cilindri e della sua dilatazione: bisogna dunque che esista qualche altro fenomeno che sfugge ancora alla scienza ed alle osservazioni, la di cui scoperta sarebbe cosa sommamente importante per la pratica.

I vantaggi che la teoria vorrebbe attribuire all'impiego del vapore a pressioni e a temperature alte, vengono per tal modo completamente smentiti dalla pratica; ed è perciò che alcun sistema di macchina non ha peranco prevalso, e che i numerosi ragionamenti fatti contro le macchine di Watt per mostrare la loro inferiorità a quelle di Woolf non impediscono che se ne costruisca ancora un gran numero. Del calorico contenuto nel vapore, la sola porzione utilizzata è quella che serve ad alzare la sua temperatura quando è formato: l'esperienza ha sempre dimostrato che tal quantità è insensibile a confronto di quella che è necessaria per far passar l'acqua dallo stato liquido allo stato gazoso: ma in tutte le macchine quest'ultima parte di calore è assolutamente perduta per l'effetto utile, poichè il vapore, dopo aver servito, cede all'aria, nella quale il si rigetta, il calorico di cui era proveduto, oppure lo comunica all'acqua nella quale il si condensa per fare il vuoto sotto gli stantuffi.

Questa difficoltà fu sentita e valutata dal celebre Montgolfier, e fu egli che mi comunicò, quando io era ancora ben giovine, l'opinione fissa nella quale egli era: che esista una vera identità fra il calorico e la potenza meccanica che serve a svilupparlo, e che questi due effetti altro non siano che la manifestazione apparente ai nostri sensi di un solo e medesimo fenomeno.

Imbevuto di quest'idea, egli pensò che il modo più vantaggioso d'impiegare il calore a produrre la forza fosse il trarre direttamente profitto dall'elasticità acquistata dall'aria in forza dell'innalzamento di temperatura nell'atto della combustione. Quel vasto concetto, ch'io tento di realizzare in pratica, diede origine ad una macchina ch'egli nominò *Pyro-Ariete*, il di cui principio

essendo superiore ai lumi del secolo, come la maggior degli altri suoi concetti, non potè in quel tempo spargersi nel mondo industriale. Furono tentati dopo molti cimenti per giungere al medesimo scopo. Una macchina di grande potenza, avente per motore l'aria dilatata nell'atto stesso della combustione, fu posta in America a bordo di un battello a vapore, e i primi risultamenti furono coronati da un esito che ha sorpassato tutto ciò che se ne poteva sperare.

Ma, come avviene in tutte le altre innovazioni relative ad applicazioni tanto delicate e tanto difficili della scienza alla pratica, è accaduto che molte particolari disposizioni non vennero sufficientemente studiate, e la macchina non ha potuto ancora acquistare in tutte le sue parti quell' armonia e quell'insieme di buona esecuzione che potrebbero realizzarne l'impiego a benefizio del pubblico. È noto quanta regolarità esiga il pubblico in tutto ciò che è destinato a provedere ai suoi bisogni, è nota la giusta severità de' suoi giudizj contro ogni innovazione che gli venga offerta prima di esser stata sufficientemente maturata. Tal severità è spesse volte funesta alle invenzioni, perchè gl'inventori, sempre troppo disposti a trascurare i particolari, e i risultamenti materiali che possono scorgersi da ognuno, si lasciano facilmente abbagliare da perfezionamenti che spesso non sono valutabili nè valutati che da loro medesimi: perciò diviene tanto più importante che coloro i quali meditano un'invenzione od un miglioramento di somma utilità da essere sottomesso al pubblico giudizio, non s'affrettino a darlo alla luce finchè non sieno ben sicuri che i risultamenti avranno tutta la certezza e tutta l'evidenza necessaria.

### III. Delle macchine locomotive.

Le macchine locomotive sono di creazione troppo recente, e non sono abbastanza avanzate perchè io possa sperare che le mie considerazioni possano ancora per lungo tratto servire al loro perfezionamento. Ma da che l'arte d'impiegare il calore alla produzione della forza è

essenzialmente collegata al progresso futuro di quelle, ho creduto opportuno di far precedere a ciò che avevo a dire sulle locomotive, alcune riflessioni a mè suggerite dallo studio di una materia sì importante.

Finora il vapore non fu mai impiegato nelle macchine locomotive ad una tensione maggiore di 4, o 5 volte quella dell'aria atmosferica, locchè corrisponde sullo stantuffo ad una pressione eguale a 3, o 4 atmosfere; perchè il vapore non comincia a produrre un effetto utile se non quando la sua elasticità comincia a superare quella dell'aria atmosferica.

Tal pressione è data immediatamente pel carico della valvola di sicurezza, in guisa che conoscendone la superficie ed il peso in chilogrammi corrispondente alla combinazione delle leve, all'estremità delle quali si pongono i pesi, si può calcolar l'effetto della macchina senza essere obbligati a fare alcuna riduzione.

La pressione corrispondente ad un'atmosfera è rappresentata dal carico risultante di una colonna d'acqua di $10^{m},33$ di altezza, locchè equivale ad un peso di $1^{chil.},033$, oppure, a numero tondo, $1^{chil.}$, per ogni centimetro quadrato. La vera forza di una macchina posta in gioco dal vapore, la cui tensione sia più grande di quella dell'aria atmosfera, è dunque misurata dall'eccesso della tensione del vapore sopra quella dell'aria. Il peso dell'aria, che preme su tutti i corpi coi quali è in contatto, non è eguale dappertutto: tal peso è relativo alla densità dell'aria, ed all'altezza della colonna, a partire dal punto ove si trova posto il corpo contemplato fino alla estremità superiore degli strati atmosferici, in guisa che l'azione di una macchina sarebbe molto differente in un luogo elevatissimo di quello che sarebbe al livello del mare.

Le macchine locomotive costrutte finora, ammettono il vapore nel cilindro con tutta la pressione sotto la quale si è formato nella caldaja. Tal disposizione, che è la più semplice di tutte, venne adottata per la necessità di ridurre al meno possibile il peso delle macchine onde non affaticar troppo le rotaje. Nei primi tempi delle strade di ferro, l'arte di costruire le mac-

chine locomotive era nella sua prima infanzia, e quindi quelle allora costrutte ed impiegate erano assai pesanti e deterioravano prontamente le rotaje. Dovettero quindi i costruttori prima di tutto cercare di diminuirne il peso scegliendo materiali migliori ed adottando disposizioni più opportune per dar loro le qualità di cui mancavano. Il peso della caldaja contribuiva principalmente ad accrescer quello delle macchine; ma col mezzo dei tubi generatori si potè ridurlo al disotto di ciò che era necessario perchè l'aderenza delle ruote sulle spranghe rimanesse uguale allo sforzo che devon fare per strascinare i convogli.

Nei particolari dell'esecuzione, le macchine locomotive furono al giorno d'oggi perfezionate a quel grado maggiore che comportano i progressi dell'arte. La nuova disposizione che tende a rendersi generale, e che consiste nello stabilirle sopra 6 ruote in luogo di 4, e l'aumento di forza che si dà alle spranghe, hanno tolto gli ostacoli che si opponevano all'aumento del loro peso: si può dunque adesso cercare, e forse si troverà presto, il modo di utilizzare lo scatto del vapore, soprattutto se alcuni perfezionamenti permettessero d'impiegarlo ad un grado maggiore di tensione di quello che s'usa al giorno d'oggi.

Le macchine locomotive che si costruivano prima del 1823 non bastavano a produrre più di 300 chil. di vapore all'ora. Mercè la protezione illuminata che fin da quel tempo il Governo concedeva all'industria, potei introdurre in Francia senza dazio due macchine del celebre costruttore Roberto Stewenson, simili a quelle che si impiegavano allora sulla strada di ferro di Darlington. L'una di esse fu mandata al signor Halete, distinto costruttore di macchine ad Arras, perchè la studiasse; l'altra fu trasportata a Lione per servire di modello a quella che io dovea colà far costruire pel servigio della strada di ferro. Dai moltiplicati saggi fatti su tali macchine ad Arras ed a Lione risultò che la loro produzione non poteva sorpassare 300 chil. di vapore all'ora, quantità che restò esattamente la stessa, qualunque d'altronde fosse la pressione ed in conseguenza

la temperatura, alla quale il vapore si formava senza che fosse possibile di notare alcuna differenza nella quantità del combustibile impiegato.

Tali macchine erano calcolate in modo d'agire con valvole di sicurezza caricate di 60 libbre inglesi per ogni pollice quadrato, ossia quattro chil. per centimetro, locchè corrispondeva a quattro atmosfere.

Abbiamo veduto a pag. 274 che la forza di un cavallo di macchina a vapore nel sistema di Watt corrisponde ad un consumo di 50 metri cubici di vapore a $100^{\circ}$ per ora; i 300 chilometri d'acqua evaporata dalle caldaje delle macchine inglesi, dovendo produrre $300 \times 1700 = 518$ metri cubici di vapore, avrebbero dunque bastato ad alimentare una macchina di Watt di 10 cavalli circa.

Ma essendo il vapore prodotto a $151,^{\circ}68$ sotto una pressione cinque volte più grande di quella dell'atmosfera, il suo volume in forza della dilatazione derivante dalla elevazione di temperatura, era rappresentato da

$$\frac{510 + 510 \times 51,68 \times 0,00375}{5} = 121,76.$$

Supponendo che il modo d'agire del vapore nei cilindri, e l'abbassamento di temperatura derivante dalla dilatazione siano i medesimi come in una macchina di Watt, e che di più l'eccesso di raffreddamento procedente dalla temperatura, e le perdite risultanti dalla sua gran tensione compensino l'imperfezione del vuoto che si fa nel condensatore di Watt, si troverà che il suo effetto è eguale a

$$121,76 \times 4 = 487,04,$$

rappresentante la forza di

$$\frac{487,04}{50} = 9,7 \text{ cavalli.}$$

Il diametro dei cilindri di tali macchine era di $0^{m},22$: la corsa dello stantuffo di $0^{m},60$; la pressione sui due cilindri che agivano simultaneamente era per conseguenza rappresentata da

$$\left(\frac{22}{2}\right)^{2} \times 3,14 \times 4 \times 2 = 3040 \text{ chil.},$$

e la capacità di ciascun cilindro essendo di

$$\left(\frac{0,22}{2}\right)^2 \times 3,14 \times 0,60 = 0^{m3},0228,$$

la macchina a ciascun giro di ruota consumava

$$0,0228 \times 4 = 0^{m3},0912 \text{ di vapore.}$$

I $121,^{m3}76$ di vapore per ora somministrati dalla caldaja, non potevano bastare se non a procurare alla macchina la celerità corrispondente a

$$\frac{121,76}{0,0912} = 1338 \text{ giri},$$

ed essendo il diametro delle ruote di 4 piedi inglesi ($0^m$, 3048) tal velocità corrispondeva per secondo a

$$\frac{1338 \times 0,3048 \times 3,14 \times 4}{3600} = 1^m,42,$$

ossia circa 5 chilometri per ora.

Per ricondurre la pressione del vapore sugli stantuffi allo sforzo che la macchina esercita nel senso del suo andamento, bisogna moltiplicare la resistenza che il vapore esercita su di quelli pel rapporto della loro velocità a quella della ruota all'estremità della sua circonferenza, locchè dà

$$3040 \times \frac{1,20}{0,3048 \times 4 \times 3,14} = 954 \text{ chil.}$$

L'insufficienza di celerità di tali macchine, che furono le sole usate in Inghilterra fino al 1829, mi fece ravvisare la necessità di aumentare i mezzi di produzione del vapore: perciò fino dall'anno 1817 io aveva cominciato a mettere in esecuzione il divisamento da me da lungo tempo maturato, di moltiplicare le superficie riscaldanti, facendo passare l'aria calda procedente dalla combustione attraverso ad una serie di tubi immersi nell'acqua della caldaja. A me parve che il mal esito del metodo inverso di moltiplicare le superficie facendo circolar l'acqua nei tubi, dipendeva principalmente dal non potersi imprimere un moto abba-

stanza rapido al liquido, a cagione della poca altezza delle colonne d'acqua chiuse nei tubi, locchè non permetteva a tutte le parti del liquido di venirsi a presentare successivamente alle superficie riscaldanti: notai che si formava allora fra l'acqua ed il metallo uno strato di vapore caldissimo, sottilissimo ed assai raro, che era in conseguenza un cattivo conduttore del calorico, e si opponeva tanto più efficacemente a trasmetterlo, quanto più la tempetura era elevata. Per ovviare a questi inconvenienti ho voluto fare il tentativo del sistema contrario, che ha confermato pienamente tutte le speranze che io ne avea concepito.

Tali caldaje vennero in seguito applicate a tutte le macchine locomotive costrutte dopo, e non si può intendere come si sia aspettato fino ad ora a metterle in uso per la navigazione a vapore.

Il maggior ostacolo, che mi pareva doversi opporre al compimento del mio disegno, era la difficoltà di poter ottenere nel focolare una corrente d'aria tanto forte che determinasse i prodotti della combustione a passare a traverso i tubi sostituiti al cammino della caldaja. Io temeva che l'esiguità del loro diametro aumentando le superficie apportasse tanto ritardo al corso dell'aria da annullare del tutto il traimento; bisognava dunque ricorrere ad un mezzo di alimentazione artificiale del tutto indipendente dal cammino. Ottenni quest'effetto col mezzo dei ventilatori a forza centrifuga: dietro alcuni tentativi giunsi a produrre fino a 1200 chil. di vapore all'ora, impiegando caldaje di tre metri di lunghezza sopra 0$^{m}$,80 di diametro, contenente 43 tubi di 0$^{m}$,04 di diametro.

Considerai allora la quistione come completamente risoluta, e presi il 12 dicembre 1837 un brevetto di tale invenzione.

Tal maniera di procedere lasciava però ancora qualche cosa a desiderare relativamente all'impiego del ventilatore all'alimentamento del fornello. Tal applicazione avea presentato nella pratica alcuni inconvenienti gravissimi. Ma vennero felicemente tolti di mezzo qualche tempo dopo, mercè la scoperta di un metodo altrettanto

semplice quanto ingegnoso, consistente nell'injettare nel cammino il vapore che ha servito al giuoco dei cilindri.

L'attività di combustione procacciata dall'uno e dall'altro di questi due metodi è sì grande che non si conosce altro limite alla quantità di acqua evaporata se non quello dell'estensione delle superficie evaporanti. Le macchine attualmente in uso pesano da 8 a 9 tonnellate, e fanno evaporare da 1500 a 1800 chil. d'acqua per ora (1).

Ho fatto diversi sperimenti per determinare il diametro più vantaggioso che si possa dare ai tubi bollitori e m'è sembrato risultarne che convenga mantenerli a 4 centimetri. Del resto dacchè le quantità di vapore hanno sempre finora sorpassato il bisogno, si dà meno importanza a tali tentativi che a quelli di trovare il modo di facilitare il servizio, e soprattutto di evitare l'ostruzione dei tubi per opera dei frammenti di carbon infuocato, che dal rapido movimento dell'aria vengono trasportati nell'interno dei tubi.

Indipendentemente da tale miglioramento, io ebbi altresì a fare, in un ordine inferiore, diversi cambiamenti alle prime macchine che mi avevano servito di modello. Aumentai un poco il diametro dei cilindri, e lo portai a $0^{m},225$ ed anche fino a $0^{m},23$: stabilii fra la valvola di sicurezza ed i pesi di cui è caricata una molla che le impediva di aprirsi ad ogni istante durante le scosse cagionate dal movimento della corsa: feci posare tutto il corpo della macchina sulle ruote col sussidio di forti molle: infine più tardi adottai tutti i miglioramenti fatti in Inghilterra nelle diverse parti delle locomotive, che mi parvero opportuni ad essere felicemente applicati alle locomotive della strada di Saint-Étienne.

La capacità del cilindro delle macchine locomotive in uso sulla strada di ferro di Saint-Étienne essendosi un poco aumentata dietro i cambiamenti fatti ai modelli ricevuti dall'Inghilterra, reputo che al momento in cui faccio le mie osservazioni, il diametro dei cilindri potrebbe essere considerato in medio termine di $0^{m},225$

(1) G. de Pambourg, *Trattato delle macchine locomotive*, pag. 264.

e per conseguenza la pressione sui due stantuffi sarebbe di

$$\left(\frac{225}{2}\right)^2 \times 3,14 \times 4 \times 2 = 3180^{chil.}$$

e lo sforzo nel senso dell'andamento,

$$3180,00 \times \frac{1,20}{3,048 \times 4 \times 3,14} = 1000^{chil.}$$

la capacità di ciascun cilindro,

$$\left(\frac{225}{2}\right) \times 3,14 \times 0,60 = 0^{m3},0236,$$

ed il consumo del vapore ad ogni giro di ruota

$$0,0236 \times 4 = 0^{m3},0946.$$

Supponendo la produzione del vapore di 1500 chil. all'ora, o cinque volte più grande di quella delle prime macchine, il suo volume diventa

$$121,76 \times 5 = 608,80,$$

e la celerità della macchina,

$$\frac{608,80 \times 0,3048 \times 4 \times 3,14}{0,0946} = 24650^{m.} \text{ per ora;}$$

ossia

$$\frac{24420}{3600} = 6^{m.},85 \text{ per secondo.}$$

Se si volesse ridurre la forza di queste macchine al numero dei cavalli che rappresentano, servendosi degli stessi dati impiegati a pag. 274 per le macchine di Watt, dovremmo moltiplicare il volume del vapore pella sua pressione e dividere per 50, che esprime il numero dei metri cubici di vapore il cui consumo per ogni secondo rappresenta la forza di un cavallo; ossia

$$\frac{608,80 \times 4}{50} = 48,7 \text{ cavalli;}$$

ma atteso che la celerità ha una gran parte in tale valutazione bisogna, per eliminarla e ridurre la forza della macchina allo sforzo che eserciterebbe se tal celerità fosse

ridotta ad 1 metro per secondo, dividerla per lo spazio che percorre in questo medesimo tempo; locchè ci dà

$$\frac{48,7}{6,79} = 7,25.$$

Tal risultamento c'insegna quanto sia vago il confronto che si fa della forza delle macchine col numero dei cavalli, e ci fa comprendere la necessità di rinunciare alle denominazioni volgarmente impiegate per sostituire un altro linguaggio che stia meglio in relazione coi progressi dell'arte.

Supponendo che lo sforzo del cavallo sia rappresentato da un peso di 80 chil., quello delle macchine diverrebbe

$$7,25 \times 80 = 580^{\text{chil.}}$$

Tal quantità è però molto al dissotto della potenza che sviluppano le macchine sulla strada di ferro fra Givors e Lione. Abbiamo veduto in effetto che la resistenza del convoglio è rappresentata da

$$100,000 + 14000 \times \frac{3}{2} \times (0,0004 + 0,005) + 50$$
$$= 703^{\text{chil.}},40.$$

E quando si consideri che le macchine devono necessariamente essere provvedute d'un'eccedenza di forza per mettere i convogli in moto, e che con tal carico percorrono talvolta una parte di strada che ha una salita di 0,005, si dovrà rimanere convinti che v'hanno circostanze nelle quali lo sforzo per strascinare il convoglio è ben vicino a raggiugnere i 1,000 chil. indicati dalla teoria.

Le macchine impiegate attualmente in Inghilterra hanno due cilindri di $0^{m},28$ di diametro, e di $0^{m},40$ di corsa, ed hanno 100 tubi bollitori di rame giallo di $0^{m},04$ di diametro. Credo superfluo il ripetere tutti i particolari della costruzione e degli effetti di tali macchine, tanto bene osservati, calcolati e descriti dal signor di Pambourg, alla cui opera rimetto i miei lettori. D'altronde ogni giorno vede nascere nuovi modelli e nuove modificazioni, e ciò mi esporrebbe al pericolo di segnalare come nuove alcune disposizioni che potrebbero già tro-

varsi abbandonate al momento in cui questo libro giugnerà alle mani del pubblico.

Il diametro del cilindro delle màcchine sulla strada di Manchester a Liverpool essendo di $0^{m},28$ e il corso dello stantuffo di $0^{m},40$, la superficie dello stantuffo viene ad essere rappresentata da

$$\left(\frac{28}{2}\right)^2 \times 3,14 = 0^{m2},60544,$$

e la pressione esercitata sui due stantuffi del vapore da

$$605,44 \times 42 = 4843^{chil.}\,52.$$

Moltiplicando tal quantità colla proporzione fra il doppio corso dello stantuffo e la circonferenza della ruota, il cui diametro è di $1^{m},53$, si ottiene, per lo sforzo della macchina nel senso del suo corso

$$\frac{4843,52 \times 0,40 \times 2}{1,53 \times 3,14} = 1091 \text{ chil.}$$

Ciò dimostra che lo sforzo di quelle macchine non eccede di un decimo quello delle macchine della strada di Saint-Étienne.

Supponendo, come sopra, le produzioni del vapore di 1,800 chil. all'ora ed osservando che la capacità dei cilindri è eguale a

$$0,605 \times 0,4 = 0^{m3},02421,$$

si troverà, con un calcolo analogo a quello fatto a pag. 287, che la celeritità della macchina è rappresentata da

$$\frac{608,80 \times 1,53 \times 3,14}{0,02421 \times 4} = 30,203 \text{ metri per ora},$$

$$\text{ossia } \frac{30203}{360} = 8^{m.},40 \text{ per ogni secondo.}$$

Tal celerità suppone che tutta la potenza della macchina sia impiegata a vincere la resistenza del convoglio. Ma quando le macchine sviluppano nel loro corso un eccesso di potenza, v'è necessariamente un aumento di celerità: il dispendio di vapore facendosi allora più considerevole, la sua tensione s'abbassa nella caldaja, ed

il carico che può strascinare la macchina diminuisce nella medesima proporzione, fino a che si stabilisca una nuova relazione fra la sua potenza modificata in ragione della tensione del vapore, la resistenza del convoglio e la sua velocità.

I convogli non possono acquistare tal velocità che successivamente, mediante una accelerazione che segue la legge del quadrato dei tempi decorsi dall'origine del moto, legge a cui soggiacionò i corpi gravitanti alla superficie della terra. Quando tal celerità è raggiunta, il macchinista riduce la quantità di vapore, fino a che la potenza sviluppata dalla macchina sia eguale alla resistenza passiva del convoglio, continuando la celerità a mantenersi da sè stessa dietro l'impulso avuto. Perciò i macchinisti devono aver gran cura di dare il vapore in modo regolare onde evitare gli improvvisi cambiamenti di celerità che esporrebbero ad urti, a scosse, o ad altri accidenti.

Un'altra condizione non meno indispensabile all'azione della macchina, si è che l'attrito esercitato dalle sue ruote sulle spranghe sia superiore alla resistenza del convoglio: bisogna dunque che nelle mutazioni che hanno per iscopo l'aumentare la sua forza, si ponga mente ad accrescer pure l'attrito nella medesima proporzione.

I costruttori delle prime macchine locomotive non supposero che il semplice attrito delle ruote sovra spranghe fatte lisce dall'uso, potesse bastare a strascinare i convogli e ad impedire alle ruote di sdrucciolare. Per lungo tempo si fecero molte invenzioni, e si eseguirono molte macchine per prevenire questo pericolo immaginario, fino a che più tardi l'esperienza fece conoscere che il mezzo più semplice era anche il più sicuro, il meno costoso ed il più facile a mettersi in pratica.

L'aderenza delle ruote sulle spranghe è tanto più grande quanto più tai corpi sono lisci, e quanto più in conseguenza il contatto è immediato. Tosto che il contatto cessa sopra un punto le quattro ruote si mettono rapidamente in moto: l'eccesso di dispendio del vapore ne fa tosto abbassare la tensione, e la sua pressione sullo stantuffo divenendo inferiore all'attrito delle ruote sulle spranghe, le ruote tantosto si arrestano.

È opinione comune che quando le quattro ruote sono legate fra loro in modo da partecipare ai medesimi movimenti siano meno disposte a sdrucciolare sulle spranghe che quando due di esse soltanto ricevono il moto dalla macchina. Ma tale opinione fondata sopra un ragionamento non confermato dalla pratica, ha lasciato sempre dei dubbii nella mia mente, e per chiarirla avrei dovuto fare una serie di sperimenti, di osservazioni e di comparazioni dirette, le quali non ebbi mai occasione di fare: credetti anzi di notare che in alcune circostanze accadesse precisamente l'opposto: sia che l'aumento di peso che in questo caso si fa gravitare sulle due ruote motrici congiunto all'eccedenza di diametro che si dà a quelle aumenti l'attrito; sia che la difficoltà di stabilire un parallelismo perfetto fra le quattro ruote spinte nello stesso tempo dagli stantuffi dei due cilindri cagioni leggeri ritardi, o dei momenti di fermata che determinano le ruote ad abbandonare le spranghe.

Quest'ultima opinione vien sostenuta dalla rapidità con cui progredisce il sistema delle macchine a sei ruote, nelle quali solamente le due di mezzo, di un diametro molto superiore alle altre sono collegate agli stantuffi e messe in moto dalla forza espansiva del vapore. Si aumenta il numero delle ruote delle macchine, perchè il loro peso posando così sopra un maggior numero di punti affatica meno le spranghe.

Quando le locomotive devono agire sopra linee la cui inclinazione è vicina a raggiugnere il limite, al di là del quale non torna più conto di farne uso, bisogna per far montare i convogli su quelle salite, che le ruote delle macchine esercitino maggior aderenza sulle spranghe che quando si percorrono linee orizzontali. Un modo semplicissimo di ottenere questo aumento di aderenza consisterebbe nel far comunicare direttamente il moto di rotazione delle ruote delle macchine ad una parte di quelle che formano il convoglio. A tal fine io aveva divisato, quand'era direttore della strada di ferro di Saint-Étienne, di legare con coreggie le ruote della macchina a quelle di un carro carico di mercanzie od anche ad una di quelle del treno di approvigionamento. Le di-

sposizioni sarebbero state talmente prese che l'attrito di queste ruote sulle carrucole fosse stato eguale a quello da esse prodotto sulle spranghe. Sarebbe stato in oltre necessario che la resistenza del convoglio producesse nelle coreggie tanta tensione da impedir loro di sdrucciolare. Forse questo mezzo, che io non ho potuto esperimentare, potrebbe condurre a felici risultamenti.

Lo stato delle spranghe ha una grande influenza sullo sdrucciolamento delle ruote delle macchine: quando le spranghe sono coperte di polve di carbon fossile stemperata nell'acqua, i carri e le macchine riducono tal mistura ad una specie di melma impalpabile che favorisce singolarmente lo sdrucciolamento: questo è uno dei più grandi ostacoli da me incontrati nell'eseguire il servizio con macchine nelle forature, soprattutto in quella di Terre-Noire che è molto umida, molto lunga, e la cui poca sezione non permette che vi si stabilisca una corrente d'aria abbastanza rapida e possente per asciugare le spranghe.

L'aderenza delle ruote produce il suo più intiero effetto quando queste sono perfettamente secche, o pure inondate d'acqua. Sulla strada di ferro di Saint-Étienne si è avuto cura di praticare, nelle locomotive, 4 piccioli getti d'acqua, che procedono dal *tender* o serbatojo d'acqua destinato ad alimentare la caldaja, e tengono le ruote continuamente irrigate. Fra tutti i tentativi da me fatti è questo il mezzo che sia meglio riescito.

La materia impiegata per formare le ruote delle locomotive influisce anch'essa sullo sdrucciolamento. Il signor Chapman (1) crede che si abbia a preferire il ferro alla ghisa perchè la durezza che la tempra dà a quest'ultima ne diminuisce l'aderenza sulle spranghe. Crede anche che le ruote di ghisa abbiano l'inconveniente di favorire la disposizione che ha il ferro delle spranghe, la cui tessitura è sempre più o meno fibrosa, a dividersi in lame, locchè produce la loro pronta distruzione. Tutte queste considerazioni vengono a convalidare l'opinione che già ebbi occasione di esternare a tal proposito.

(1) *Trattato pratico delle strade di ferro*, di N. Wood, Parigi 1834, pag. 20.

Si può determinare l'attrito esercitato dalle ruote delle macchine sulle spranghe, osservando il punto nel quale le ruote delle macchine cominciano a sdrucciolare sovra sè stesse quando se ne aumenta successivamente il carico.

La forza della macchina può considerarsi come se avesse due impieghi ben distinti: il primo, destinato a vincere la resistenza procedente dall'attrito delle diverse parti del suo meccanismo, ed a trasportare sè stessa sopra un terreno orizzontale; il secondo destinato a strascinare il convoglio. Questa seconda quantità è la sola che debba considerarsi come misura dell'attrito.

La resistenza corrispondente a tal parte della potenza delle macchine è variabile per una moltitudine di cause che ho già indicate (pag. 148 e seg.); viene ad essere ancora vieppiù complicata nel caso attuale dallo stato delle spranghe, dalla resistenza dell'aria, dalla regolarità del corso del convoglio, dalla sua celerità, dalla sua massa, dalla sua estensione, ecc. Non si può quindi se non approssimativamente, e soltanto per alcuni casi particolari, determinare il limite al quale le ruote delle macchine non esercitando più sulle spranghe un attrito sufficiente, cominceranno a girare sopra sè stesse senza far progredire la macchina.

Sulla strada di ferro di Saint-Étienne la resistenza totale è di 700 chil.; cioè:

Per la macchina 150 chil.,

E per il convoglio che strascina 550 chil.

Ma durante il corso le ruote non girano sovra sè stesse: ciò accade solamente nei casi eccezionali, quando le spranghe sono coperte di fango, quando la macchina è nel momento della partenza, o quando qualche circostanza particolare aumenta momentaneamente la resistenza di tutta la massa.

Non fu mai possibile di far strascinare alla macchina nel foro di Terre-Noire più di 15 vetture vuote locchè offriva una resistenza al più di 300 chil.; e le ruote delle macchine sdrucciolano spesso sulle spranghe nel foro di Rive-de-Giers quando il loro carico ammonta a 30 vetture vuote, locchè rappresenta a un dipresso la medesima resistenza.

La macchina sviluppando tutta la sua potenza, è giunta talvolta a strascinare il convoglio in circostanze nelle quali la resistenza è superiore di molto a quella di 550 chil., che rappresenta lo sforzo della macchina nel suo servizio abituale. Suppongo che l'attrito di 4 ruote di una macchina legate fra loro e messe in moto dallo stantuffo, sia misurato in circostanze favorevoli da una resistenza di 800 chil., poco inferiore a quella che si deduce dal calcolo diretto della pressione del vapore sugli stantuffi; e che nei casi più sfavorevoli sia ridotto a 300 chil. Il peso della macchina essendo di 10,000 chil., tal resistenza rappresenterà per il primo caso un attrito espresso da

$$\frac{800}{10,000}=0,08=\frac{1}{12,5}$$

ossia un dodicesimo e mezzo del peso della macchina, e nel secondo

$$\frac{300}{10.000}=0,03=\frac{1}{33}$$

ossia una delle trentatre parti di quel medesimo peso.

Non ebbi occasione di far osservazioni sulla strada di ferro di Manchester per conoscere se le ruote delle macchine sdrucciolavano sulle spranghe, quando avevano a vincere una resistenza considerevole: il sig. di Pambourg non fa alcuna menzione di tal fatto sì frequente sulla strada di Saint-Étienne, e sì importante a conoscersi. Eppure in un'esperienza fatta il 24 luglio 1834 sopra il Fury (1) lo sforzo che faceva quella macchina era rappresentato da una resistenza eguale a quella di 244 tonnellate sopra una linea orizzontale.

Il peso della macchina era 8t,20, e quello che gravitava sulle ruote di dietro, le sole aderenti, era di 5t,5. Essendo l'attrito sulle strade di Manchester di 0,0036, lo sforzo che faceva la macchina per strascinare il convoglio era rappresentato da

$$244,000\times0,0036=878 \text{ chil.}$$

(1) *Trattato delle locomotive*, del sig. di Pambourg, pag. 240 e 336.

Le due ruote della macchina che sole ricevevano il movimento essendo caricate di 5,500[chil.], e l'attrito risultante da tal peso sopra le spranghe essendo superiore ad una resistenza di 878 chil., poichè la macchina continuava a progredire, ne segue che l'attrito era espresso da

$$\frac{878}{5,500}=0,16=\frac{1}{6,25}.$$

I signori Simons e de Ridder credono (1), dietro esperimenti fatte in Inghilterra, da essi però non citati, che l'aderenza delle ruote delle locomotive confrontata col peso di cui sono caricate, è eguale

Sopra parti di livello . . a 1/22 = 0,041.
Per un'inclinazione di 0,005 a 1/24 = 0,045.
Per *idem* di 0,010 a 1/27 = 0,037.

E tuttavia fanno menzione di macchine del peso di 11 a 12 tonnellate che sulla strada di Darlington avevano strascinato 250 tonnellate (2), locchè porterebbe l'attrito a 0,10 circa del peso della macchina.

Le grandi differenze di questi risultamenti ci mostrano che la misura dell'attrito è estremamente variabile, e che soggiace ad una folla di condizioni, le quali tutte vogliono esser prese in considerazione quando si vuol stabilire la relazione che abbia ad esistere fra il peso e la potenza d'una macchina locomotiva. Non si può quindi segnar regole sopra questo oggetto, ma devono dedursi dall'esame dei casi particolari, servendosi degli sperimenti che ho citato, o di quelle che si potranno in seguito fare per meglio chiarire una sì dilicata quistione.

L'attrito delle ruote delle vetture sulle spranghe essendo compreso fra 1/30 e 1/10 (vedi pag. 140) ho considerato che debba essere in medio termine di 1/20, ossia di 0,05; ma il modo da me praticato per arrivare a tal risultamento è affatto differente da quello praticato per determinare l'aderenza delle ruote delle macchine sulle spranghe. D'altronde si può dubitare, malgrado l'analogia apparente a prima vista, che siavi iden-

(1) *Strada d'Anversa a Colonia e Brusselles*, 1838, pag. 61.
(2) *Trattato delle strade di ferro*, di N. Wood, Parigi 1834, pag. 20.

tità di effetto fra una ruota che fissata al carro sdrucciola sulle spranghe presentando di continuo a quelle il medesimo punto della sua circonferenza, ed una ruota di macchina locomotiva che giri sopra sè stessa, presentando successivamente tutti i punti della sua circonferenza al medesimo punto della spranga. Quand'anche la teoria indicasse che esiste una tale identità negli effetti, le cose non darebbono risultamenti simili nell'atto pratico.

È anche probabile che l'estrema durezza prodotta dalla tempera della parte esteriore della circonferenza delle ruote dei carri, faciliti lo sdrucciolamento, e che le ruote delle locomotive, essendo meno dure e di maggior diametro, contraggano colle spranghe un'aderenza maggiore a peso eguale, di quella delle vetture.

Ravvicinando i risultamenti ottenuti sulla strada di ferro di Saint-Étienne, per le macchine locomotive nelle quali le 4 ruote sono accoppiate, avremo per misura dell'attrito in circostanze favorevoli, è vero, ma che però sono le più ordinarie

$$0,08 \text{ ossia } \frac{1}{12,6}$$

e per le circostanze le più sfavorevoli

$$0,03 \text{ ossia } \frac{1}{33}$$

sulla strada di Manchester

$$0,16 \text{ ossia } \frac{1}{6,26}.$$

Tal differenza di risultamento sembra potersi in parte attribuire all'unità di potenza che risulta dall'essere, in quest'ultimo caso, soltanto due ruote governate dalla macchina.

L'attrito risultante dallo sdrucciolamento delle ruote delle vetture sulle spranghe, essendo valutato, secondo i casi, a 0,104, 0,034, 0,051, si scorge che se le ruote fossero infisse nei carri in modo da non poter girare, discenderebbero sdrucciolando sulle spranghe per il solo effetto della gravità, sovra piani rispettivamente inclinati

di 0,104, 0,034, 0,051. La disposizione delle macchine e dei carri a sdrucciolare sulle spranghe vien dunque favorita dalla pendenza, nella proporzione in cui sta il limite, passato il quale discenderebbero per il solo effetto di gravità, alla differenza che esiste tra questa medesima pendenza e l'inclinazione della linea.

Se in mezzo alle anomalie che ci presentano le osservazioni relative allo sdrucciolamento delle ruote delle macchine locomotive noi prendiamo, quantunque forse con un po' d'arbitrio, per medio termine di tutti i risultamenti 1/10 del peso per misura dell'attrito, e dell'aderenza delle ruote sulle spranghe sovra parti orizzontali, ne segue che tal quantità diventerà.

Sopra una linea inclinata di 0,005,

$$0{,}100 - 0{,}005 = 0{,}095;$$

Sopra una linea inclinata di 0,010,

$$0{,}100 - 0{,}010 = 0{,}090.$$

Dietro gli sperimenti fatti in Inghilterra e citati dai sig. Simons e de Ridder, tali quantità sono rispettivamente

0,045. 0,041. 0,037.

E riducendo i primi termini d'ogni serie al medesimo valore per confrontare gli altri fra loro, avremo

Per le esperienze fatte dagli Inglesi sull'influenza della pendenza nel diminuire l'attrito,

| | | |
|---|---|---|
| Sul livello . . . . . . . . | 0,000 . . . | 1,00 |
| Sopra una pendenza di | 0,005 . . . | 0,91 |
| Sopra una pendenza di | 0,010 . . . | 0,82 |

Le medesime quantità calcolate secondo i valori della pendenza, supponendo il limite dell'attrito di 1/10

| | | |
|---|---|---|
| Sul livello . . . . . . . . | 0,000 . . . | 1,00 |
| Sopra una pendenza di | 0,005 . . . | 0,95 |
| Sopra una pendenza di | 0,010 . . . | 0,99 |

Tai valori somministrati dal calcolo, rappresentando la progressione dell'attrito, s'allontanano, come si scorge, in modo rilevante dai risultamenti forniti dall'osserva-

zione: se tali esperienze sono state fatte con qualche esattezza, si possono prendere come punti di partenza per determinare il limite dell'attrito.

Servendosi quindi di questo dato, indicheremo con $x$ la frazione decimale rappresentante l'attrito; ed osservando che una diminuzione di 0,005 nella pendenza, deve farlo variare in proporzione delle osservazioni riferite qui sopra, avremo.

$$45 : x :: 41 : x - 0,005,$$

d'onde

$$x = 0,056 = \frac{1}{18},$$

e si vede in effetto che le quantità:

0,056, 0,051, 0,046,

stanno fra loro come i numeri

0,045, 0,041, 0,037.

Da tutto ciò che precede si può conchiudere che quando non si ha speranza di poter mantenere le spranghe costantemente nette ed in buono stato, quando i cavalli fanno il servizio simultaneamente colle macchine, quando il pubblico è ammesso a viaggiare sulla strada di ferro, quando esistono fori umidi nei quali le spranghe sono coperte di fango, o di frantumi degli oggetti trasportati, infine quando le macchine sono esposte a vincere grandi resistenze per la natura del servizio che debbono fare, è necessario dar loro un peso assai considerevole, avuto riguardo all'effetto che se ne esige. Io reputo che tale sforzo sopra linee orizzontali non debba eccedere 0,05 ossia 1/20 del peso della macchina.

Ma se le macchine, come a Manchester, sono destinate, nel loro servizio abituale, a trasportare piccioli carichi con eccessiva rapidità sovra spranghe sempre nette e mantenute in buono stato, nessuna esperienza sembra aver finora dimostrato che non si possa attenersi a 0,16, ossia $\frac{1}{6,25}$.

### IV. Delle macchine locomotive sulle strade ordinarie.

Fu sovente agitata la quistione se si potessero impiegare le macchine locomotive sulle strade ordinarie: ma non essendosi investigato quali ne sarebbero i risultamenti economici, gli autori dei tentativi fin qui fatti hanno sempre toccato perdite più o meno considerevoli.

La resistenza dell'attrito sulle strade di ferro essendo di 0,005 del peso strascinato nelle circostanze meno favorevoli, si può calcolare che sopra una buona strada, tal resistenza è di 8 volte maggiore vale, a dire

$$0{,}005 \times 8 = 0{,}04 \text{ (1)}.$$

Supponendo che le macchine locomotive siano destinate a percorrere strade selciate ed a superare salite di 0,03, la resistenza totale diverrà

$$0{,}03 \times 0{,}04 = 0{,}07.$$

Abbiamo veduto a pag. 287 che sulla strada di ferro di Saint-Étienne la quantità di vapore prodotto dalle caldaje di una macchina del peso di 10,000 chil. può bastare a vincere una resistenza di 1000 chil. con una velocità di 6 leghe all'ora.

Supponendo che tal celerità sia ridotta a metà per effetto delle nuove disposizioni introdotte nella costruzione delle macchine, è evidente che potrà bastare a vincere una resistenza doppia, cioè 2,000 chil.; ed il massimo dell'effetto utile che si potrà ottenere sarà di

$$\frac{2000}{0{,}07} = 28{,}571^{\text{chil.}}$$

con una celerità di tre leghe.

I mezzi attualmente posseduti basterebbero dunque ad accertare il buon esito delle macchine sulle strade ordinarie alle condizioni qui sopra espresse, e la macchina potrebbe evidentemente strascinar seco un peso di 10,000 chilometri.

(1) G. di Pambourg, *Trattato delle macchine locomotive*, 1835, pag. 341.

Ma la spesa di una tal macchina ascende, sopra una strada di ferro, a $0^f$ e $80^c$ per chilometro, la cui maggior parte s'impiega per le spese di manutenzione e riparazioni: e non è troppo il supporre che tali spese ascenderebbero al doppio percorrendo una strada che presentasse molte ineguaglianze. Se si considera che lo spazio percorso corrisponde ad un impiego di tempo e ad una spesa doppia, si scorge che il convoglio costerà $6^f$ e $40^c$ circa per lega di 4000 metri, locchè sorpassa evidentemente il costo cui ammonta attualmente il trasporto di un peso eguale sopra le strade ordinarie: a svantaggio delle macchine resta la necessità di organizzare un materiale dispendioso e complicato che dovrebbe fare il servizio sopra strade sempre perfettamente mantenute; e delle quali la pendenza non potrebbe mai superare un dato limite: bisognerebbe ancora che vi fosse un movimento tanto forte da coprire l'impiego di un tal numero di macchine, che in caso di accidente si potessero sempre cambiare quelle avariate; infine bisognerebbe che il servizio si facesse in una proporzione sì vasta da permettere che venissero erette officine speciali non molto discoste le une dalle altre per la manutenzione o per la riparazione sui luoghi, dei guasti che gl'accidenti potrebbero cagionare.

La cosa non è dunque abbastanza inoltrata perchè la quistione possa risolversi coll'affermativa, ed è necessario che l'impiego del vapore, o di qualunque altro agente meccanico analogo, sia meglio perfezionato prima che si possa fare questa nuova applicazione. Quando saremo giunti a tal punto, l'impiego dell'asfalto, il quale sembra che sia per concorrere a migliorare e facilitare il nostro sistema di comunicazione, avrà forse fatto sufficienti progressi ond'essere applicato alla costruzione delle nuove strade sulle quali potranno agire le macchine locomotive. Vi sono molti punti che finora non hanno acquistata sufficiente importanza e il cui movimento commerciale non è abbastanza sviluppato perchè si possa pensare a costruirvi strade di ferro, nei quali questo nuovo metodo potrebbe essere vantaggiosamente adottato.

## CAPITOLO VIII.

### DELLA COSTRUZIONE DELLE MACCHINE LOCOMOTIVE

#### I. Della disposizione generale delle macchine.

Le macchine locomotive, essendo destinate a far un servizio che le espone non solamente a molti gravissimi accidenti, ma ben anche ad una moltitudine di piccioli sconcerti derivanti dalla fatica e dalle scosse che provano durante il loro corso tutte le parti del meccanismo, devono essere semplici e disposte in guisa che si possa facilmente visitarle e ripararle.

V' hanno certe riparazioni di gran rilievo che non possono essere fatte se non nelle principali officine delle compagnie, ma ve ne sono altre meno importanti per le quali basta rimpiazzare o riattare alcuni pezzi: queste d'ordinario spettano al conduttore della macchina. Oltre le officine per la costruzione e le grandi riparazioni delle macchine e dei carri, bisogna dunque stabilirne altre picciole dirette dai maestri-operaj, dappertutto ove l'importanza del movimento commerciale rende necessaria la stazione di una parte del materiale. Tali officine si stabiliscono in luoghi vicini, e spesso anche nell'interno dei ricoveri destinati alle macchine: vi devono essere pezzi di ricambio da surrogare a quelli che potessero essere rotti o deteriorati in tal modo da non permettere alla macchina di rientrare nella grande officina, ma che possono essere rimessi in posto coi mezzi che sono a portata dell'officina succursale.

La costruzione delle macchine fa sì grandi progressi che è raro il caso di costruirne delle nuove senza avere qualche miglioramento da introdurvi. Si trae profitto, quando si può, dell'occasione di grandi riparazioni

per fare le mutazioni ed i miglioramenti riconosciuti utili al servizio. Ma da tali modificazioni può derivare che le riparazioni divengano meno facili e più costose. La perfezione ideale consisterebbe nell'avere un materiale come quello degli eserciti, in cui tutti i pezzi delle macchine potessero scambievolmente surrogarsi gli uni agli altri. Le cose son ben lungi dall'essere giunte a questo punto, e solamente il tempo e l'esperienza possono far sperare che si giunga ad un modo di costruzione abbastanza meditato che non abbia più a subire se non cambiamenti insignificanti.

La manutenzione e la riparazione delle macchine locomotive richiedono spese fuori d'ogni proporzione con quelle del primo stabilimento: perciò è d'uopo farsi una legge di sacrificar tutto per ottenere un sistema durevole, che soddisfi al duplice scopo della solidità e della facilità delle riparazioni.

Le disposizioni delle locomotive, come di ogni altra macchina in generale, devono essere calcolate in modo che le diverse parti del meccanismo possano resistere ai piccioli urti ai quali vanno esposte nei maneggi necessarj al momento della partenza o dell'arrivo. Ma se si volesse metterle al coperto degli urti e degli accidenti cui sono esposte percorrendo la linea, si dovrebbe dare ai pezzi una tal forza che in pratica ne renderebbe impossibile l'esecuzione. Il meglio dunque che si possa fare si è di calcolare lo sforzo di ciascun pezzo nelle circostanze ordinarie del servizio, e di dare a questo pezzo una forza sufficiente per resistere agli accidenti giornalieri. Ma si è trovata sempre tanta difficoltà a prevedere qual sarà l'effetto dell'urto di un corpo contro un altro, che la determinazione di tal forza è pittosto un affare d'istinto e di sentimento, che il risultamento di qualsiasi calcolo.

Tutti i materiali, ciascuno secondo la propria natura, si comportano diversamente in occasione di urto e di pressione: il talento del costruttore consiste nel fare una scelta che stia in relazione colla specie di fatica cui devono resistere. Il ferro fuso resiste molto allo schiacciamento, è assai duro ed assai crudo: il ferro battuto è tenace e duttile: il legno è leggero ed ela-

stico: infine l'acciajo fuso, che per l'alto suo prezzo non ha potuto finora essere impiegato nelle macchine, riunisce le principali qualità di quei diversi metalli e va esente da una parte dei loro difetti.

I primi saggi delle locomotive vennero fatti dal signor Stewenson sulla strada di Leeds. Quelle macchine producevano poco vapore; il ferro fuso si era prodigato e ciò le rendeva pesantissime. Dopo che l'esperienza ha illuminato quell'abile costruttore egli ha introdotto nel suo sistema molti importanti miglioramenti. Il ferro lavorato ed il legno hanno rimpiazzato la ghisa; il rame è stato sostituito al ferro in tutto ciò che fu trovato vantaggioso: l'introduzione delle caldaje a tubi bollitori dell'injezione dei vapori nei cammini, dei fornelli atti al consumo del *coke*, hanno permesso di disporre di una quantità di vapore superante tutti i bisogni: e per il complesso di tutte queste modificazioni si pervenne a dare alla macchina il minor peso desiderabile.

Al giorno d'oggi si conoscono pertanto le principali basi atte a determinare le essenziali condizioni delle buone macchine; ma rimane ancora che si trovino disposizioni tali che, procacciando una gran potenza, lascino esercitare sulle spranghe un attrito sufficiente senza però sopraccaricarle al di là del limite in cui cominciano ad alterarsi.

La costruzione delle macchine deve essere subordinata non solamente all'impiego al quale sono destinate, ma anche allo sviluppo delle facoltà degli operaj che devono condurle. Essendo la manutenzione un rinovamento continuo di ciascuna delle parti, è indispensabile che vi sia proveduto dai medesimi operaj che le hanno costrutte. La riparazione presenta maggiori difficoltà che la costruzione, per la ragione che nel costruire i pezzi si mettono ciascuno al suo posto con tutto l'agio: che sono assettati prima nell'officine gli uni dopo gli altri con ogni comodità: ma quando si tratta di surrogare un pezzo impegnato nella macchina, la cosa è affatto diversa. Tuttavia se quegli che lo surroga, o ne ordina la surrogazione, è il medesimo operajo che ha fatta la macchina e che l'ha messa in opera la prima volta, egli saprà supplire a quelle misure che non po-

trà prendere: avrà i piani, i disegni gli utensili che gli hanno servito da prima, e la macchina non presenterà dopo essere riparata quelle differenze di proporzioni che si notano in quelle che vennero riparate fuori delle officine in cui furono costruite, differenze che ne determinano sempre ed in poco tempo, la distruzione completa.

D'altronde il costruttore trova sempre il suo vantaggio nel dedicarsi esclusivamente alla fabbricazione di un solo genere di macchine: le spese d'impianto per gli utensili sono allora estremamente ristrette. Ogni operajo s'impiega specialmente o continuamente a fare gli stessi pezzi non s'hanno quindi a sopportare l'enormi spese dei modelli e del tirocinio degli operaj, le quali spese ed inciampi sono una vera piaga pei direttori della grandi officine francesi. In Inghilterra le condizioni sono alquanto differenti: i costruttori di macchine d'ordinario si ristringono a metodi speciali, dei quali si discostano poco, e ricusano ogni mutamento sia nel sistema adottato, sia nelle abitudini del lavoro. Tal metodo assai favorevole agli interessi del costruttore, è ben lungi dal giovare ai progressi dell'arte: perciò si vede che in quel paese gli antichi sistemi ben perfezionati non lasciano nulla a desiderare in quanto all'esecuzione, ma al contrario l'arte è pressochè stazionaria e vi fa *insensibili* progressi.

I costruttori francesi, al contrario, essendo costretti per attirare il lavoro alle loro officine a piegarsi a tutti i capricci del genio inventore della nostra nazione, sono obbligati a studiare, a combattere e finalmente, per importunità e stanchezza, a far eseguire tutte le idee che passano per la testa dei capi degli stabilimenti, i quali rare volte hanno sufficiente fiducia nei costruttori per abbandonarsi alla loro esperienza ed ai loro lumi, e atteso che nulla v'è di più difficile che l'impadronirsi di tutti i particolari necessarii per condurre ad esecuzione un'altrui idea, i costruttori si consumano in vani sforzi per contentare i loro committenti, e finiscono il più delle volte per soccombere senza che l'arte nè il pubblico ritraggano alcun frutto da quegli sforzi isolati e da quei tentativi sì poco perseveranti.

Un'officina speciale trovasi in una situazione del tutto differente. Il capo studia continuamente i bisogni dell'intrapresa; riceve le osservazioni degli impiegati, dei conduttori delle macchine, degli operaj, infine di tutti quelli ai quali la pratica e la vista delle macchine permette di ragionarne con cognizione di causa. Egli va ad osservare ciò che si fa all'estero: legge, esamina, interroga e finisce sempre per illuminarsi intorno alle numerose quistioni che deve risolvere per correggere i difetti od introdurre i miglioramenti. La sua immaginazione, e quella dei suoi impiegati, essendo sempre tese verso il medesimo oggetto, raggiungono lo scopo; ed ogni passo fatto nel progresso è una nuova arra di successivo miglioramento per l'occasione in cui si abbia a fare nuove opere sopra altre macchine.

## II. Del focolare.

Le dimensioni e la disposizione del focolare della macchina vanno subordinate alla quantità ed alla qualità del combustibile che si dee consumare. La proporzione ordinaria è di $0^m,80$ a $0^m,90$ quadrati sopra $0^m,50$, a $0^m,60$ di altezza. La grossezza dello strato di coke che abbrucia durante la corsa, varia a seconda della sua qualità e della massa d'acqua che si deve far evaporare: è però ordinariamente di $0^m,30$ a $0^m,50$. Finora non si è prestata grande attenzione all'economia del coke, poichè molte altre quistioni erano da risolversi nella costruzione delle macchine locomotive. Tale spesa è generalmente del quarto o del terzo di tutto il dispendio necessario all'impiego delle macchine. Le differenze di relazione colle altre spese paragonate a quelle delle macchine ordinarie dipende da ciò, che il servigio delle locomotive vuol esser diretto da operaj esperimentati. La giornata di siffatti operaj è d'ordinario costosa, locchè dipende specialmente dal poco tempo impiegato dalle macchine per fare il servigio giornaliero, e dal tempo durante il quale stanno in riposo, per essere riparate.

Oltre le spese del coke e dei macchinisti, le locomotive costano enormemente per la manutenzione. La rapidità del corso, e i numerosi accidenti cui vanno soggette, richiedono che nella costruzione si sviluppino tutte le cognizioni dell'arte per assicurar loro una lunga durata.

Il maggior inconveniente al quale vada esposto il servigio è quello di mancar di vapore sulla strada: perciò è essenziale impiegare il miglior coke possibile. La bontà di esso dipende dall'esser fabbricato con carbone ben puro. Dovendo la combustione del coke, per essere vantaggiosa, venir operata ad una temperatura molto alta, i resti di schisto, di *grès* e d'altre sostanze analoghe in esso contenute entrano in fusione e colano fin presso alla graticola. Ma avvicinandosi a quella vengono raffreddati dalla corrente d'aria che vi affluisce e formano frantumi o scorie che ostruiscono la graticola, ritardano la combustione, e l'arresterebbero del tutto se non vi si rimediasse nettando il fornello.

Un altro difetto comune del coke è di esser fabbricato con carbon fossile solforoso, e di conservare ancora una certa quantità di zolfo, il quale, sviluppandosi durante la combustione, si combina coi metalli componenti il fornello, e forma con essi dei solforati che li rendono fragili e ne accelerano la distruzione. Tal accidente è ben più da temersi nei fornelli delle macchine locomotive, che in quelli delle macchine fisse, perchè nelle prime il combustibile sta in contatto da tutte le parti col metallo della caldaja.

Per avere un coke esente da tali inconvenienti bisogna severamente invigilare alla fabbricazione di quello: far scelta di carbon fossile ben netto e ben puro, e sacrificare se è necessario il prezzo alla buona qualità. I resti dei carboni grossi che possono subire una semifusione, vengono d'ordinario, a cagione del basso prezzo, impiegati a fabbricare il coke. Ma quando la qualità dei carboni fossili è tale da non agglomerarsi nella carbonizzazione, si fabbrica il coke col grosso carbone, ossia colle *gaillèttes*; tal metodo aumenta il prezzo, ma in pari tempo somministra un prodotto assai superiore a quello che si ottiene dai carboni minuti.

### III. Delle caldaje.

Le pareti del focolare delle locomotive sono sempre formate di doppii inviluppi metallici che contengono dell'acqua nel loro intervallo. Tale disposizione è indispensabile per approfittare di tutte le superficie che si possono mettere direttamente in contatto colle scaturigini del calore, e per evitare di esporre all'azione di quello le superficie, le quali, quando non fossero continuamente raffreddate dall'acqua, verrebbero sformate in poco tempo, e sarebbero distrutte dall' ossidazione.

Tali superficie, in mezzo alle quali la combustione si opera, fanno dunque l'officio di caldaje; ed in effetto ne sono la continuazione, e contribuiscono molto alla evaporazione, a cagione della loro vicinanza ai punti del focolare, ove l'intensità del calorico è maggiore. Devono dunque essere costruite colle medesime precauzioni delle caldaje, poichè devono esse pure resistere a tutta la pressione del vapore.

Le caldaje destinate ad agire ad alta pressione sono ordinariamente terminate da superficie curve sopra tutti i punti nei quali il vapore esercita un'eguale pressione, ma non è facile l'adottare tal disposizione per gli inviluppi del focolare. Bisogna allora necessariamente attenersi alle superficie piane, locchè aumenta di molto la difficoltà quando la tensione del vapore è portata a parecchie atmosfere.

La difficoltà di dare una troppo grande dimensione al fornello e il bisogno di conservare al focolare la maggior estensione possibile, obbligano a ridurre a $0^m,07$, a $0^m,08$, o tutto al più a $0^m,10$ l'intervallo pieno d'acqua che si trova fra l'inviluppo esterno e l'interno. Quest'ultimo, che riceve il primo colpo di fuoco con tutta l'intensità del calore sviluppato dalla combustione del coke, determina l'evaporazione d'una quantità d'acqua ben più considerevole, avuto riguardo alla sua superficie, che il resto della caldaja.

Secondo gli sperimenti fatti in Inghilterra dal sig. Roberto Stephenson, risulta che la quantità d'acqua eva-

porata dalle superficie che inviluppano il focolare ascendono a 122 chilog. per metro quadrato all'ora (1).

Accrescendosi il fuoco, la violenza dell'ebullizione è talvolta sì grande, e si forma dietro l'inviluppo interno, che è in contatto col focolare, una tal quantità di vapore, che l'acqua non avendo il tempo di rimpiazzarlo, le superficie si riscaldano, e giungono talvolta ad arroventarsi. Il vapore esercita allora sul metallo una pressione alla quale in tale stato non può resistere: ne risultano spinte interne, e sformazioni che cagionerebbero un'esplosione, se le fessure che si formano non lasciassero uscire il vapore e non permettessero tosto che l'acqua venisse a raffreddare di nuovo le superficie.

Tal accidente è spesso accaduto alle macchine che ho stabilito sulla strada di ferro di Saint-Étienne. Per prevenirlo, io faceva arrivare l'acqua di alimentazione dietro i punti in cui il fuoco era più violento. Aveva anche successivamente tenuti più discosti i due inviluppi del focolare: ma non mi è mai riuscito di rimediare a questo inconveniente come avrei voluto.

S'impiega la lamiera od il rame per le caldaje e pegli inviluppi del focolare. Il rame è preferibile a cagione della sua durata, della maggior facilità che presta alle riparazioni, e del valor intrinseco che resta quando le caldaje son fuori di servizio. Essendo il rame laminato per solito meno paglioso, più sano, e meglio fabbricato che le foglie di lamiera, io mi sono limitato nella pratica a tenerlo della medesima grossezza come se adoperassi la lamiera, quantunque la coesione del rame sia minore di quella del ferro.

Si suol valutare la grossezza da darsi alle parti della caldaja che formano superficie curve, determinando la pressione che il vapore esercita sopra un anello che abbia per larghezza l'unità adottata come punto di partenza, e confrontandola colla sezione del metallo che vi corrisponde.

Sia *ACBD* (tav. VI, fig. 33) la sezione di una caldaja circolare avente $0^{m},80$ di diametro; la pressione

(1) *Trattato delle macchine locomotive*, di G. di Pambourg, pag. 210.

che esercita il vapore sulle due parti *ACB*, *ADB* per far rompere il metallo nei punti *A* e *B* è composta dalla somma di tutte le pressioni *CD*, *GH*, *EF*, ecc., nel senso dei diametri, decomposte nelle direzioni *DC*, *GF*, *EH*, perpendicolare alla sezione *AB*.

Considerando la pressione del vapore sopra una porzione infinitamente piccola della circonferenza *sy*, e tirando le linee *sx*, *xy* perpendicolari ai raggi *AB*, *CD*, si potrà considerare il picciolo arco *sy* come rappresentante l'intensità della pressione nella direzione di *GH*.

Trasportando *sy'* sopra *GH*, e decomponendo la pressione esercitata in *sy*, rappresentata da *sy*, seguendo *sx*, *xy* paralleli alle direzioni *AB*, *CD*, la componente *sx* rappresenterà lo sforzo del vapore per far rompere la caldaja seguendo la sezione *AB* e *xy* seguendo *CD*. Tirando in seguito le linee *sy'*, *x'y'*, perpendicolare ed evidentemente eguali ad *sx*, *xy*, prolungando *x'y'*, *sx*, fino al diametro *AB*, si avrà $tu = x's = sx$.

La pressione esercitata dal vapore sovra *sy'*, decomposta seguendo *CD*, per far scoppiare la caldaja sarà dunque espressa da *tu*: e siccome può farsi il medesimo ragionamento per tutti i punti della circonferenza, si troverà che la somma di tutte le pressioni è eguale al diametro *AB*.

Partendo da tal dato, supponiamo che le caldaje siano destinate a lavorare abitualmente sotto una pressione di 4 atmosfere; e che l'amministrazione esiga che siano provate sottomettendole ad una pressione 3 volte più grande, ossia di 12 atmosfere, ossia di 12 chil. per centimetro quadrato: la sezione *AB* avendo $0^{m},80$ di lunghezza, rappresenterà una superficie di 80 centimetri quadrati, locchè in ragione di 12 chil. per ogni centimetro, equivale ad una pressione totale di 960 chil.

Se lo spesso della caldaja è di 6 millimetri, le due parti *AB* avendo ciascuna 0,01 ossia 10 millimetri di lunghezza, la sezione del metallo che dovrà resistere a tale sforzo sarà di

$$10 \times 2 \times 6 = 120 \text{ millimetri quadrati.}$$

ossia: $\frac{960}{120} = 8^{\text{chil.}}$ per millimetro quadrato nella prova,

tronde non si può dare una sezione circolare e dappertutto eguale ai diversi condotti che scorre, nè ottenere un movimento tanto regolare quanto nei tubi.

Un'altra cagione della gran facoltà evaporante di tali caldaje è la facilità di rimpiazzare l'acqua sulle superficie, a misura che vien ridotta in vapore. Nelle caldaje ordinarie il movimento si fa tumultuosamente: ogni bolla di vapore che si forma a contatto della superficie riscaldata tende a sollevarsi. L'acqua degli strati superiori che discende per rimpiazzarlo imbarazza il suo moto e trova un ostacolo nel proprio corso in guisa che una porzione del metallo si trova sempre in contatto con una porzione di vapore la cui temperatura tende ad innalzarsi, e che diventa sempre più cattivo conduttore del calorico per trasportare il calore alle parti d'acqua che sono sovrapposte.

La quantità d'acqua evaporata è relativa all'intensità del calore della parte del focolare colla quale le superficie metalliche che la contengono sono in contatto. L'alta temperatura a cui abbrucia il coke nelle caldaje a tubi bollitori determina un'evaporazione d'acqua che ascende sino a 122 chil. (1) per ogni metro quadrato nelle parti esposte direttamente all'azione del fuoco, ed al terzo di tale quantità sopra le superficie dei tubi bollitori, mentre nelle caldaje ordinarie l'evaporazione media di tutta la superficie esposta all'azione dell'aria calda non ascende che da 30 a 36 chil. per metro quadrato.

Il consumo del coke delle macchine locomotive in corso è di 200 chil. circa all'ora e rappresenta un'evaporazione di 15 a 1,600 chil. d'acqua, ossia da 7 ad 8 parti d'acqua per una di combustibile. Le macchine locomotive in principio del loro stabilimento erano riscaldate col carbon fossile, e venne provato che l'evaporazione seguiva ad un dipresso la medesima legge di proporzione. Il nuovo sistema ha quindi, per ciò che concerne l'economia, vantaggi analoghi a quello della produzione del vapore sotto un peso ed un volume meno considerevoli di quelli di tutti gli apparecchj ai quali venne

(1) *Trattato delle locomotive*, di G. di Pambourg, pag. 210.

surrogato. Dietro ciò è difficile concepire perchè l'industria abbia usata tanta indifferenza e lentezza nell'applicare tal metodo alla navigazione, poichè a bordo dei battelli a vapore la produzione attuale non sorpassa mai le quattro o cinque volte il peso del combustibile impiegato.

L'esperienza ha insegnato che i tubi bollitori devono esser fatti in ottone o rame giallo laminato: i primi che furono fatti in rame rosso vennero corrosi e distrutti dal fuoco con estrema rapidità. Lo spesso loro è d'ordinario di 3 millimetri. È difficile l'assegnare alcun termine alla durata media di quelli, perchè la natura del combustibile impiegato, la maniera con cui è fabbriato il coke, e le sostanze eterogenee che contiene, e fra queste principalmente lo zolfo, hanno una grande influenza su tale oggetto. Quando il coke è di buona qualità si può calcolare sopra una durata media equivalente al corso di 30 a 40,000 chilometri.

### V. Dell'alimentazione d'aria nel fornello.

Quando consultai i costruttori di macchine intorno al mio disegno d'introdurre un sistema al rovescio di tutti quelli praticati in allora, vale a dire di far circolare l'aria calda in tubi isolati di picciole dimensioni immersi nell'acqua invece di riscaldare in un focolare comune una gran quantità di tubi pieni di quel liquido, ciascuno mi riprodusse la prima obiezione ch'io aveva fatta a me stesso: che, cioè, l'insufficienza del traimento farebbe più che compensare i vantaggi che io mi proponeva di ottenere coll'aumento delle superficie esposte al fuoco. M'accorsi allora che era indispensabile il creare artificialmente un'alimentazione d'aria. L'impiego del ventilatore a forza centrifuga mi parve essere il mezzo più semplice e più sicuro per ottenere una corrente d'aria tanto intensa quanto potessi desiderarla. Adattai quindi al carro che portava l'acqua ed il combustibile destinati ad alimentare le mie macchine, due tamburi circolari aventi $1^{m},60$ di diametro e $0^{m},32$ di larghezza: il mezzo di quei tamburi era attraversato da assi portanti quat-

tro aste di ferro sulle quali erano fissate altrettante ali di legno. Gli assi ricevevano il moto per mezzo di una coreggia che li metteva in comunicazione con carrucole adatte alle ruote del carro sul quale era stabilito tutto questo apparecchio.

Ottenni in questa guisa un traimento tanto completo quanto il potessi desiderare. In parecchi esperimenti fatti coi signori Alberto Schlumberger e Emilio Koechlin, per valutare l'intensità della corrente d'aria, venne provato che la pressione dell'aria nel luogo della cenere equivaleva da $0^m,015$, a $0^m,020$, vale a dire che era eguale a quella che si ottiene negli alti e buoni cammini (1). Ma questo mezzo presentava il grave inconveniente di esigere che il combustibile fosse sempre ripartito in un modo perfettamente eguale e regolare sulla graticola, perchè in tutti i punti nei quali era sguernita, l'aria potendosi introdurre in masse considerevoli, produceva tali correnti che facevano l'effetto d'un mantice da fucina, che determinavano un fuoco sì violento cui nulla poteva resistere: le pareti del fornello, le caldaje, le barre che erano esposte a tal azione si alteravano rapidamente e non tardavano ad essere del tutto distrutte. Tal parte del nuovo sistema era dunque imperfetta, e sarebbero state necessarie molte modificazioni, se non vi si fosse sostituito il metodo ben più vantaggioso dell'injezione del vapore nei cammini. Tal metodo mette al coperto dal pericolo da me riferito, ma esige l'impiego del vapore ad alta pressione, e non permette che si tragga profitto dalla elasticità di quello: bisogna dopo essersene serviti, rigettarlo nell'aria con tutta quella tensione sotto il quale venne prodotto. Si può dunque credere che i ventilatori, specialmente quando saranno impiegati a bordo dei battelli a vapore, ed applicati agli orifici dei cammini per aspirare il fumo, potranno rimpiazzare i cammini in modo vantaggioso nelle macchine a scatto ed a bassa pressione.

(1) *Bollettino della Società di Mulhouse*, n. 22, dicembre 1831, pag. 182.

## VI. Delle trombe alimentarie.

La maggior parte dei guasti, e degli accidenti che nascono alle caldaje delle locomotive, e delle macchine a vapore in generale, provengono da ciò che per effetto di qualche sconcerto nel meccanismo, le trombe destinate ad alimentare la caldaja cessano di fare il loro officio. Le superficie che non sono coperte di acqua si riscaldano allora rapidamente, e si fanno ben presto roventi. Se, in tale stato, un movimento qualunque porta uno spruzzo d'acqua a coprire quelle superficie roventi, la gran quantità di vapore che si forma istantaneamente non ha tempo di sfuggire, e nemmeno di sollevare la valvola di sicurezza e succede l'esplosione.

Il giuoco delle trombe alimentarie vien sovente interrotto dal cattivo stato della valvola che deve opporsi al ritorno dell'acqua dalla caldaja al corpo della tromba, e basta il più leggero ostacolo di un picciol pezzo di legno, o d'un granello di sabbia nella valvola per istabilire la comunicazione. L'elasticità del vapore che si forma allora nel corpo delle trombe, non permette all'acqua del serbatojo d'introdurvisi, e l'alimentazione cessa. Tal accidente è tanto più frequente quanto più la temperatura del vapore è alta. Accade principalmente quando la minima perdita ha potuto permettere l'introduzione d'una piccola quantità d'acqua della caldaja nel corpo della tromba, durante una delle numerose interruzioni del suo gioco durante la corsa.

Nei primi saggi delle macchine locomotive da me fatte costruire trovai conveniente di far alimentare la caldaja con acqua a 100° allo scopo di evitare l'abbassamento di temperatura, e la diminuzione nella produzione del vapore, che si verificano sempre quando si riuniscono le due circostanze di una alimentazione molto attiva operata con acqua fredda. A tale effetto io aveva disposto fra le caldaje ed il *tender* contenente l'acqua fredda, un serbatojo che serviva di parete al focolare, nel quale attingevano le trombe alimentarie. Trovai in tal metodo d'operare i vantaggi che ne aspettava: ma

l'inconveniente da me esposto si verificava ancora più spesso che quando si faceva uso dell'acqua fredda. Per rimediarvi fui obbligato ad aver ricorso ad una disposizione particolare, che sembrami potersi vantaggiosamente usare in alcuni casi, e perciò mi sembra degna d'essere descritta.

L'impiego di quella tromba esige che il serbatojo d'alimentazione sia discosto da alto in basso un metro circa dal corpo della tromba. Lo stantuffo è formato da una staffa *AB* (tav. VI, fig. 34), che porta, nella sua parte inferiore, una valvola *D*, che s'apre d'alto in basso, in guisa che lo stantuffo salendo non fa aprire la valvola *E*. Per l'effetto del peso della colonna *IE* vien prodotto questo moto, e l'acqua del serbatojo *I* s'introduce nel corpo della tromba.

Durante la corsa o quando la macchina è fermata, se la pressione del vapore fa retrocedere nel corpo di una tromba alimentaria di consueta costruzione, od attraverso alle valvole *G*, *H*, quando per maggior precauzione ve ne sono due, una picciola quantità d'acqua ad una temperatura superiore a quella dell'ebollizione, quest'acqua arrivata in *KL*, si ridurrà in vapore e chiuderà la valvola *E*; e se non può uscire attraverso lo stantuffo, questo comprimerà e lascerà alternativamente dilatare il vapore nel suo moto, senza aspirare dal serbatojo o mandare nella caldaja alcuna quantità di acqua. Ma supponendo l'esistenza della valvola *D*, è chiaro che non potendo mai esser ben grande l'elasticità del vapore nel corpo della tromba, la valvola *D*, durante il suo movimento ascendentale dopo alcune oscillazioni cadrà per il proprio peso ed il vapore sfuggirà dalla sua apertura. Durante la discesa dello stantuffo, la poca densità del vapore non basterà a far chiudere la valvola, la quale lasciando sempre uscire il vapore arriverà fino ad *M*, alla superficie dell'acqua bollente. Questa, qualunque sia la sua temperatura, opporrà alla valvola una resistenza che la farà chiudere, e lo stantuffo nel suo moto obbligherà l'acqua contenuta da *M* in *L* a passare nella caldaja: e così di seguito.

Questo tentativo ebbe il miglior esito e l'apparecchio

fu posto in uso e conservato per tutto il tempo ch'ebbi ad usare dell'acqua bollente per alimentare le caldaje. Ma nuove disposizioni avendo dopo quel tempo e simplificato e perfezionato il sistema delle macchine locomotive, ed avendo permesso di trascurare il vantaggio che deriva dall'impiego dell'acqua calda, si è potuto senza inconveniente tornare al sistema delle ordinarie trombe alimentarie.

## VII. Della distribuzione del vapore.

Tutti gli apparecchj che sono destinati a distribuire il vapore nei cilindri delle macchine, hanno l'inconveniente di non scoprire le aperture che devono aprirgli il passaggio se non in una maniera graduale e relativa al movimento della macchina. Dovendo la medesima apertura per cui il vapore s'introduce nel cilindro servire egualmente a condurlo o nell'aria o nel condensatore, il tempo impiegato ad entrare è esattamente eguale a quello che mette nell'uscire.

Tutti i calcoli coi quali si tenta d'assicurarsi che le comunicazioni fra la caldaja ed i cilindri saranno sufficienti per dar agio al vapore di mettersi sensibilmente e dappertutto alla medesima pressione durante il movimento dello stantuffo, tendono a far credere che le aperture siano generalmente in tutte le macchine al di là del bisogno.

Tuttavia la pratica dimostra che la cosa accade del tutto diversamente. Come ho già notato a pag. 264 avviene allora un fenomeno sconosciuto che complica i risultamenti ed obbliga a lasciare al vapore vaste aperture, e ad adottare, affinchè possa esercitare tutta la sua azione sugli stantuffi, alcune disposizioni che la pratica soltanto ha potuto discoprire.

Per fissare alquanto le idee su tale quistione, esamineremo le circostanze che accompagnano il passaggio del vapore dalla caldaja nei cilindri d'una macchina che procede con una celerità di 15 metri per secondo, ed in cui il diametro delle ruote sia di $1^{m},53$, e il corso di uno stantuffo di $0^{m},40$. Quando lo stantuffo è in

mezzo del cilindro, la sua velocità diviene

$$\frac{15 \times 0,40}{1,53} = 3,92;$$

la sezione delle cassette che lasciano allora il passaggio al vapore essendo 1/12 circa (1) di quella del cilindro, la celerità del vapore sarà

$$3,92 \times 12 = 46^{m.},04.$$

Consegue da ciò che il vapore comincia ad esercitare la sua azione sullo stantuffo solamente quando ha passato il limite di tensione corrispondente alla celerità che deve assumere nei passaggi ed aperture che percorre per seguire il moto dello stantuffo.

Abbiamo veduto che tale celerità è sulla strada di Manchester di 46 metri. Riprendendo l'equazione

$$(2) \quad \ldots\ldots \quad v^2 = 20 e,$$

che esprime la superficie percorsa in funzione della celerità, avremo

$$e = \frac{v^2}{20} = \frac{(46)^2}{20} = 105^{m.},80,$$

vale a dire che occorrerebbe il peso di una colonna d'aria di $105^{m},80$ di altezza per rappresentare una celerità di 46 metri.

Il peso dell'aria confrontato con quello del mercurio, essendo nella proporzione di 10,366 a 1, tal pressione sarà rappresentata da una colonna di mercurio di

$$\frac{105,80}{10.366} = 9,01,$$

locchè non arriva alla dugentesima parte dell'elasticità del vapore durante la corsa. È però vero che la perdita di forze dipendente da tal cagione, viene necessariamente aumentata dal rallentamento del vapore nel suo corso traversando passaggi d'irregolare sezione i quali sono alternativamente aperti ed ostrutti dal casset-

G. di Pambourg, *Trattato delle locomotive*, pag. 282.

tino nel punto di distribuzione fino ad interruzione completa.

L'intermittenza del moto nelle macchine a moto alternativo, obbliga la massa del vapore ad ogni oscillazione della macchina a mettersi in moto, ed a tornare immediatamente dopo in riposo. Ma atteso che i corpi, senza eccettuarne probabilmente i gas, non possono acquistare la celerità che a gradazioni insensibili e secondo una legge nella quale entrano necessariamente i quadrati dei tempi scorsi dopo l'origine del moto, è probabile che il tempo impiegato dal vapore per mettersi in moto non gli permetta di esercitare sullo stantuffo che sfugge tutta la pressione cagionata dalla sua elasticità. La celerità della macchina essendo calcolata a 15 metri per secondo, e le ruote sviluppando per secondo

$$1^m,53 \times 3,14 = 4^m,80$$

la macchina dovrà fare

$$\frac{15}{4,8} = 3,125 \text{ giri per secondo;}$$

ma facendo lo stantuffo due movimenti durante un giro di ruota, il numero delle oscillazioni semplici sarà di

$$3,125 \times 2 = 6,250;$$

e il tempo impiegato a una di quelle oscillazioni di

$$\frac{1}{6,250} \text{ di secondo, ossia } 0'',16, \text{ ossia } 9''',6, \text{ 10 circa.}$$

La determinazione delle circostanze di questo fenomeno potrebb'essere di sussidio a spiegare i risultamenti della pratica. Ignoro se sia stato fatto qualche lavoro per chiarire tal quistione, ma la risoluzione di quella mi allontanerebbe troppo dal mio soggetto, e bastami averla indicata per attirare su di essa l'altrui attenzione.

Le aperture che fanno comunicare la caldaja col cilindro vengono messe a scoperto dal cassettino successivamente ed a misura che la macchina fa il suo movi-

mento. Ne consegue che se la macchina fosse regolata in modo che lo stantuffo stesse esattamente a metà del suo corso quando la manovella dell'albero è perpendicolare al cilindro e che si trascurasse la grossezza del cassettino sul labbro delle aperture, il vapore non comincierebbe ad introdursi nello stantuffo, se non all'istante medesimo in cui fosse giunto in fondo del cilindro, e cominciasse a fare un altro movimento in senso opposto. Ora l'esperienza ha insegnato che tal disposizione non è la più favorevole per ottenere dalle macchine il maggior effetto. E bisogna al contrario che il cassettino anticipi il movimento dello stantuffo in modo che l'apertura che lascia al vapore per introdursi nel cilindro abbia già acquistato una certa estensione quando lo stantuffo comincia il suo moto.

Da ciò risultano due inconvenienti: primo che il vapore comincia a premere sopra lo stantuffo in senso contrario al suo andamento un po' prima che giunga in fondo al cilindro; il secondo che il vapore viene ad essere intercetto un po' prima che lo stantuffo arrivi al fondo opposto. Ma avendo l'esperienza insegnato che queste due perdite sono più che compensate dai vantaggi della disposizione che offre al vapore agio bastevole perchè possa esercitare liberamente la sua azione sullo stantuffo nel principio del movimento, si può credere che la difficoltà d'introdursi attraverso le aperture con sufficiente celerità, debba esser presa in considerazione all'effetto di determinare qual estensione abbiasi a dare a quelle aperture, onde ottenere dal vapore il migliore effetto possibile.

Tal disposizione che si chiama *gioco del cassettino* è stata descritta ed i suoi effetti sono stati calcolati molto diffusamente dal signor di Pambourg (1). Rimanderò quindi i lettori alla sua opera per tutte le particolarità che si desiderasse di conoscere intorno a questo oggetto.

(1) *Trattato delle locomotive*, pag. 286.

### VIII. Della valvola di sicurezza.

Ogni centimetro quadrato di superficie della valvola di sicurezza, caricato d'un peso di $1^{chil.}$,033, o in numero tondo, di 1 chilogramma, rappresenta, come abbiamo veduto, una pressione che può tornar utile, eguale a quella che esercita l'atmosfera sopra uno stantuffo sotto il quale siasi fatto il vuoto. Ma dovendosi riservare all'apertura delle valvole di sicurezza una certa estensione per lasciare al vapore una libera uscita quando non viene utilizzato, sorge la necessità, onde evitare di caricare direttamente le valvole con pesi imbarazzanti, d'impiegare un sistema di leve o di molle, la cui combinazione sotto la valvola rappresenti una pressione corrispondente alla tensione sotto la quale si impiega il vapore.

È cosa essenzialissima il ben determinare l'estensione della parte della valvola di sicurezza sulla quale preme il vapore, per caricarla di pesi che indichino esattamente la sua tensione. Diverse cagioni, e fra le altre il modo con cui la valvola fu lavorata e posta in opera, possono fare variare i risultamenti ed indurre in errore, quando non si ebbe cura, o la possibilità di verificare le pressioni coll'uso di un manometro.

Supponiamo, in effetto, che nello stabilimento d'una sotto-valvola di sicurezza, la parte superiore *AB* (tav. VI, fig. 35) sia la sola che sia stata lavorata abbastanza esattamente per contenere il vapore: è evidente che confrontando il peso di cui è caricata colla superficie del circolo che avrà *AB* per diametro, non si commetterà alcun errore; ma se il contatto avrà luogo solamente in *CD* (fig. 36) lasciando verso la parte superiore *AB* uno spazio anche insensibile, il peso del quale si sarà caricata la valvola rappresenterà nella caldaja una pressione superiore al calcolo stabilito, nella proporzion del quadrato di *AB* al quadrato di *CD*.

A questo effetto se ne aggiunge un altro, indicato dal signor Clement-Desormes, come quello che ha cagionato l'esplosione di parecchie caldaje, e le cui circostanze hanno qualche analogia con quelle da me notate.

Per far meglio comprendere in che consista il principio dell'osservazione fatta dal signor Clement-Desormes, esagererò a bella posta la disposizione della quale egli ha indicato il vizio.

Supponiamo dunque che un' apertura *AB* (tav. VI, fig. 37) fatta ad una caldaja nella quale si forma il vapore, sia coperta da un disco il cui diametro *CD* sia eguale a 10 *AB*.

Finchè il vapore non avrà superata la pressione dell'atmosfera, il disco *CD* resterà applicato sull'apertura *AB*. Aumentandosi la tensione nella caldaja, il vapore finirà per isfuggire raggiando intorno al disco *CD*. Ma trovando uno spazio maggiore a misura che si allontanerà dall' apertura *AB*, ed a misura che la gran celerità non permetterà più che rallenti il suo moto in ragione dell' aumento di estensione di tale spazio, la sua tensione, superiore in *A* a quella dell' atmosfera, potrà divenire eguale ad essa in un punto *x*, ed inferiore in *C*. E se la sottrazione della pressione della superficie della zona *Cx* è maggiore dell' eccesso di pressione corrispondente alla superficie di cerchio *xx'*, la tensione del vapore aumenterà infinitamente nella caldaja senza che il disco *CD* sia alzato, e vi potrà essere rottura ed esplosione.

Essendo la temperatura del vapore collegata alla sua pressione con rapporti invariabili, si è immaginato di munire le caldaje di piastre di metallo che si fondono ad una temperatura corrispondente a certa pressione che non deve essere superata: si è anche voluto che le caldaje fossero provate con una pressione eccedente cinque volte quella a cui devono soggiacere abitualmente: ma tali misure non fanno che sottomettere gli apparecchi a prove che li guastano, e li rendono inetti a resistere a quegli sforzi ai quali potrebbero venire esposti in casi straordinarj. Se presso le rotelle di metallo fusibile si fa qualche leggera perdita di vapore, e se questa condensandosi rende umido il metallo, questo non participa più alla temperatura della massa e non può fondersi quando il vapore ha raggiunta la temperatura che dovrebbe produrre questo effetto. Io credo al-

tronde che gli accidenti che possono accadere nelle caldaje in forza d'aumento di pressione successiva e graduale, siano estremamente rari: tutti questi accidenti, dei quali ho sentito narrare i particolari dipendettero da qualche cagione particolare che aveva prodotto istantaneamente uno sviluppo considerevole di vapore, e tutte le valvole di sicurezza e tutte le piastre fusibili non avrebbero potuto prevenire nè impedire l'esplosione. Io considero dunque l'interesse particolare del capo dello stabilimento come la più sicura salvaguardia per evitare tali catastrofi: ei non deve restare indifferente ai progressi delle scienze che possono guidare la sua pratica, e deve scegliere uomini intelligenti dai quali possa essere inteso ed a cui possa dare le istruzioni ed i suggerimenti necessarj, non dimenticando che la conservazione della loro vita dipende dalla propria prudenza e vigilanza.

### XI. Del costo delle macchine.

Ho sempre insistito vigorosamente perchè le macchine fossero costruite nelle officine proprie della compagnia, qualunque fosse l'importanza dei trasporti che dovessero eseguire, e ciò per la ragione che è indispensabile che gli operaj destinati a ripararle siano quelli medesimi che le hanno costrutte. Così ho io fatto sulla strada di Saint-Étienne fino a che ne ho conservato la direzione. Credo che sarà utile alle persone le quali avranno a trovarsi in una situazione eguale alla mia il conoscere quanto mi sia costato lo stabilire una macchina sul modello di quelle ricevute dall'Inghilterra, delle quali dodici ancora agiscono sulla strada di ferro da Saint-Étienne a Lione. Darò dunque la distinta delle somme corrisposte agli operaj per fattura dopo aver contrattato con loro i diversi articoli, e vi aggiungerò tutti gli altri sborsi fatti per mettere la macchina in istato di agire sulle spranghe.

1.° — 4 *Ruote assettate sulle loro asse.*

| | fr. | c. |
|---|---|---|
| Fattura e forniture di quattro ruote in legno, a 30 fr. l'una, prezzo convenuto col carradore . . . . . . | 120 | 00 |
| 4 Cerchj di ferro del peso totale di 236 chil., lordo, in ragione di 63. fr. per ogni 100 chil. . . . | 148 | 70 |
| Pel lavoro alla fucina e adattamento . . . . . . . . . . . . . . . . | 20 | 00 |
| Lavorio al tornio del legno e del ferro dei cerchj . . . . . . . . . . . | 36 | 00 |
| 4 Cerchj di ferro soprapposti ai primi, 466 chil. a 63 fr. . . . . . | 293 | 60 |
| Fattura e adattamento . . . . . | 40 | 00 |
| Lavorio al tornio . . . . . . . . | 84 | 00 |
| 4 Mozzi di ruote, di ghisa, colle loro corone . . . . . . . . . . . . . . | 105 | 00 |
| 4. Cerchietti pei suddetti mozzi. | 15 | 00 |
| 168 Chiavarde e galletti per collegare i diversi pezzi delle 4 ruote. | 40 | 00 |
| Foratura e lavorio al tornio dei 4 mozzi e delle loro corone. . . . . | 20 | 00 |
| 2 Assi, o sale di ferro, del peso complessivo di 265 chil., a 63 fr. il quintale . . . . . . . . . . . . . . | 166 | 95 |
| Lavorio al tornio e adattamento degli assi. . . . . . . . . . . . . . . | 40 | 00 |
| 4 Rocchetti, o bottoni, per comunicare il movimento alle ruote. | 80 | 00 |
| 8 Cerchj per ricevere ed assicurare i rocchetti suddetti; prezzo del ferro, fattura e adattamento. . . . | 124 | 00 |
| Foratura delle 4 ruote e loro assettamento sulle sale . . . . . . . . | 5 | 00 |

*Da riportarsi* . . . . . 1,338 25

*Somma riportata* . . . 1,338 25

2.° — *Telajo colle sue ferramenta.*

| | | |
|---|---|---|
| Travicelli di quercia pei correnti del telajo, compresa la fattura. . . | 60 00 | |
| Assito orizzontale di rovere, su cui sta il macchinista . . . . . . . . . . | 30 00 | |
| 6 Squadre di ghisa per sostenere l'assito tuddetto, 34 chil. . . . . . . . | 14 30 | |
| 4 Briglie di ferro per collegare i lati orizzontali del telajo, 321 chil. a 60 fr. il quintale. . . . . . . . . | 192 60 | |
| Ferramenta per accoppiare la macchina col *tender* (1), 150 chil. a 60 fr. il centinajo metrico . . . . | 90 00 | |
| Ferramenta per collegare il fornello al telajo, 140 chil. a 60 fr. il quintale. . . . . . . . . . . . . . | 84 00 | |
| Staffe e squadre per reggere il fornello, 200 chil. a 60 fr. il centinajo. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 120 00 | |
| 66 Chiavarde per l'impianto del telajo e per adattarvi i preaccennati pezzi, 131 chil. a 60 fr. il centinajo. . . . . . . . . . . . . . . | 78 60 | |
| 4 Pezzi di ghisa per assicurare la caldaja al telajo, 749 chil. a 40 fr. il centinajo. . . . . . . . . . . . . | 299 60 | |
| 4 Colonne di ghisa per sostenere il parallellogramma, 94 chil. a 40 fr. il centinajo . . . . . . . . | 39 20 | |
| 8 Piastre di ghisa con orecchioni, per raffermare le casse degli stantuffi, a 42 fr. il centinajo metrico. | 168 00 | |
| 4 Casse di ghisa per l'ugnimento | | |
| *Da riportarsi.* . . . | 1,176 30 | 1,338 25 |

(1) *Carro pell'approvigionamento dell'acqua e del coke.*

| | | |
|---|---|---|
| *Somme riportate* . . . . . | 1,176 30 | 1,338 25 |
| della macchina, 73 chil. 1/2 a 42 fr. il centinajo. . . . . . . . . . . . . . | 30 85 | |
| 4 Controcasse, ossia serbatoj dell'olio, 30 chil. a 40 fr. il centinajo. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 00 | |
| Lisciatura interna delle quattro casse. . . . . . . . . . . . . . . . | 8 00 | |
| 4 Molle d'acciajo, 200 chil. a 2 fr. l'uno . . . . . . . . . . . . . . | 400 00 | |
| | | 1,627 15 |

3.° — *Fornello.*

| | | |
|---|---|---|
| Armatura di ferro per servir di sostegno al fornello, 200 chil. a 90 fr. il centinajo. . . . . . . . . . . . . . | 180 00 | |
| Una piastra di rame semicircolare per foderare internamente il fornello, 221 chil. a 315 fr. il centinajo. . . . . . . . . . . . . . . . | 696 15 | |
| Un'altra piastra piana per lo stesso oggetto, 114 chil. a 300 fr. | 342 00 | |
| 10 Fogli di lamiera per l'esterno del focolare, 359 chil. a 92 fr. . . | 330 30 | |
| Un foglio di lamiera, come sopra, pel recipiente della cenere. . . . . | 25 60 | |
| Chioderia di rame, 37 chil. a 4 fr. | 148 00 | |
| Chioderia di ferro, 36 chil. ad un franco. . . . . . . . . . . . . . | 36 00 | |
| Costruzione del fornello, 776 chil. a 90 fr. . . . . . . . . . . . . . . . | 698 50 | |
| 3 Sportelli di lamiera coi loro gangheri ed incastri a 20 fr. l'uno. | 60 00 | |
| 17 Regoli di ferro fuso pella graticola, 246 chil. a 35 fr. l'uno. . . | 86 25 | |
| | | 2,602 80 |
| *Da riportarsi* . . . . | | 5,568 20 |

*Somme riportate* . . . . . 5,568 20

4.° *Caldaja e suoi accessorj.*

| | | |
|---|---|---|
| Lamiera per la caldaja, compresavi la fattura, 450 chil. a 180 fr. | 710 00 | |
| Un fondo di caldaja *idem*, 36 chil. a 80 fr. il quintale. . . . . . . . . | 28 80 | |
| Foratura dei buchi pei tubi, ecc. | 31 20 | |
| Un fondo di caldaja in rame, 45 chil. a 325 fr. . . . . . . . . . | 146 25 | |
| Foratura e adattamento. . . . . | 30 00 | |
| 83 Tubi bollitori in ottone, 600 chil. a 290 fr. . . . . . . . . | 1,740 00 | |
| Fattura e saldatura degli stessi tubi. . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 180 00 | |
| Saldatura forte e piastrette per acconciamento . . . . . . . . . . . | 50 00 | |
| Politura al tornio dei tubi ai due capi. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 63 00 | |
| 500 Chiavarde pella commettitura delle diverse parti della caldaja, 89 chil. a un franco. . . . | 89 00 | |
| Un serbatojo pel vapore, in forma di campana, che sormonta la caldaja, 86 chil. a 40 fr. . . . . . | 34 40 | |
| Un cappello di ghisa formante la parte inferiore del cammino, forato e adattato, 171 chil. a 57 fr. | 97 45 | |
| Un fumajolo in latta. . . . . . . | 30 00 | |
| Una cassa di distribuzione per introdurre il vapore nel cilindro, 40 chilogrammi a 57 fr. . . . . . | 22 80 | |
| 2 Valvole di sicurezza atte ad esser poste in opera prontamente, 10 chil. 50 a 5. fr., 20 cent. . . . | 54 60 | |
| 2 Chiavi di bronzo per indicare il livello dell'acqua nella caldaja, 2 chil. a 5 fr., 20 cent. . . . . . . | 10 40 | |
| *Da riportarsi* . . . . | 3,317 90 | 5,568 20 |

| | | |
|---|---|---|
| *Somme riportate* . . . . | 3,317 90 | 5,568 20 |
| Piombo pel carico della valvola di sicurezza, 8 chil. a 1 fr., 50 cent. | 12 00 | |
| | | 3,329 90 |

5.° — 2 *Cilindri e loro accessorj.*

| | | |
|---|---|---|
| 2 Cilindri, del complessivo peso di 370 chil., a 57 fr. . . . . . . . . | 210 90 | |
| 2 Coperchii, e due fondi, torniti e forati, 67 chil., 50, a 57 fr. . . . | 38 45 | |
| 2 Stantuffi, *idem*, 41 chil. a 47. fr. | 19 25 | |
| 2 Nicchie pelle cassettine, munite d'imposte traforate, 102 chil. a 57 fr. . . . . . . . . . . . . . . . | 58 15 | |
| 4 Suste a spira, in ottone, per guernimento degli stantuffi, tornite, poste in assetto . . . . . . . . . . . | 93 00 | |
| 2 Grandi *stuphembox*, 2 cannelli per cilindro, il tutto tornito e posto in assetto, 8 chil. a 5 fr. 20 cent. | 41 60 | |
| 3 Piccoli *stuphembox* per le nicchie, e valvola di distribuzione del vapore, torniti e posti in assetto, 3 chil, 50 cent. . . . . . . . . . . | 18 20 | |
| 2 Cassettini pella distribuzione del vapore, posti in opera, 4 chil., 50, a 5 fr., 20 cent. . . . . . . . . . | 23 40 | |
| 6 Paja di cuscinetti: 4 per le piante de' cassettini, e 2 pell'abero di comunicazione del movimento di prima mossa, 9 chil., 50, a 5 fr., 20 cent. | 49 40 | |
| 2 Guide pel tronco pei cassettini, 2 chil. a 5 fr., 20 cent. . . . . . | 10 40 | |
| 2 Corpi di tromba alimentare, 26 chil. a 20 fr. e 20 cent. . . . | 135 20 | |
| 2 *Stuphembox* pei suddetti, 4 chil. a 5 fr., 20 cent. . . . . . . . . . | 20 80 | |
| *Da riportarsi* . . . . | 718 75 | 8,898 10 |

| | | |
|---|---|---|
| *Somme riportate* . . . . | 718 75 | 8,898 10 |
| 2 Porta-valvole con valvole per il pedale de' cassettini, torniti, limati e smerigliati, 7 chil. e 50 a 5 fr., 20 cent. . . . . . . . . . . | 39 00 | |
| 2 Chiavi dritte pella comunicazione coll'acqua fredda, 3 chil. a 5 fr., 20 cent. . . . . . . . . . . | 15 60 | |
| 2 Chiavi a becco pella comunicazione coll'acqua calda, 3 chil., 25, a 5. fr. 20 cent. . . . . . . . . . . | 16 90 | |
| Tubi d'aspirazione e di rimando del soffio, compresa la fattura, 33 chil., 50, a 4 fr. . . . . . . . . . . | 134 00 | |
| | | 924 25 |

6.° — *Comunicazione del moto.*

| | | |
|---|---|---|
| Ferro brutto, di diverse qualità per la confezione dei pezzi di cui segue l'elenco, 1,100 chil. a 66. fr. | 660. 00 | |
| Mano d'opera per lavorìo alla fucina di detti pezzi 1,100 chil. a 40 fr. . . . . . . . . . . . . . . . | 440 00 | |
| Per lavorìo al tornio, *idem*. . . | 400 00 | |
| 2 Bilancieri, limati e posti in opera. . . . . . . . . . . : . . . . . | 60 00 | |
| 8 Staffe di parallelogrammo, limate ed adattate, a 5 fr. . . . . . | 40 00 | |
| 8 *Idem* più piccole a 3 fr., 75 cent. | 30 00 | |
| 8 Cannelli di parallelogrammo, a 5 fr. . . . . . . . . . . . . . . . | 40 00 | |
| 2 Pedali de' cassettini colle loro leve, ed albero traversale, a 12 fr. | 24 00 | |
| Comunicazione del moto per regolare il vapore, leve, manovelle, impugnature, ecc. . . . . . . . . . . | 53 00 | |
| *Da ripotarsi* . . . . | 1,747 | 9,822 35 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Somme riportate* . . . . | 1,747 | 00 | 9,822 | 35 |
| Spranghe di parallelogrammo, a 9 fr. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 36 | 00 | | |
| 2 Eccentrici, posti in assetto. . | 12 | 00 | | |
| 2 Cilindri, *idem*, a 90 fr. . . . | 180 | 00 | | |
| 2 Stantuffi, *idem*, a 6 fr. 25 cent. | 12 | 50 | | |
| 2 Stantuffi smerigliati, a 9 fr.. . | 18 | 00 | | |
| 2 Cilindri, *idem*, a 30 fr. . . . . | 60 | 00 | | |
| 12 Teste dell'aste motrici, a 25 franchi. . . . . . . . . . . . . . . | 300 | 00 | | |
| 4 Paja di grandi cuscinetti in bronzo per le aste motrici del parallelogrammo, 21 chil. 50 a 20 fr., 20 cent. . . . . . . . . . . . . . . . | 111 | 80 | | |
| 4 *Idem* per le aste motrici verticali, 8 chil. a 50 fr., 20 cent. . . | 41 | 60 | | |
| 4 *Idem* piccoli, per lo stesso oggetto, 4 chil., 25 a 5 fr., 20 cent. | 22 | 10 | | |
| 4 *Idem* per le aste motrici orizzontali, 4. chil. 25 a 5 fr., 20 cent. | 22 | 10 | | |
| | | | 2,563 | 10 |
| 7.° — *Impianto generale.* | | | | |
| Assettamento delle valvole di sicurezza negli apparecchi di distribuzione del vapore e del regolatore. | 225 | 00 | | |
| Compenso agli operaj pell'impianto ed assettamento dei diversi pezzi della macchina. . . . . . . . | 1,200 | 00 | | |
| Per lavorii di fucina relativi allo stesso oggetto. . . . . . . . . . . . . . | 200 | 00 | | |
| Carbone pella fucina. . . . . . . | 100 | 00 | | |
| Utensili, lime, acciajo per bulini, uncini, cuojo, ecc. . . . . . . . . . . . | 200 | 00 | | |
| Spese di sorveglianza, e locazione della officina. . . . . . . . . . . . . . | 300 | 00 | | |
| | 2,225 | 00 | | |
| Da dedursi, ritagli e limatura di rame . . . . . . . . . . . . . . . . . | 300 | 00 | | |
| | | | 1,925 | 00 |
| Totale generale . . . . . | | | 14,310 | 45 |

Bisognerebbe ancora aggiugnere a questa nota il costo del *tender*, o carro d'approvigionamento per l'acqua e per il coke. Quelli che ho fatto costruire io costavano, tutto compreso, 1,000 fr., ma la loro forma, imitata da quelli del signor Stewenson, venne abbandonata e ne fu surrogata un'altra più comoda, più solida e meno costosa.

Tali prezzi si riferiscono alle macchine costrutte col primo sistema adottato dal sig. Stewenson. Esse differiscono da quelle che si usano generalmente al giorno d'oggi, in ciò che i due cilindri sono situati verticalmente a ciascuno dei fianchi della caldaja. Il moto comunicato agli stantuffi dal vapore è trasmesso alle ruote per mezzo di lunghe aste o manivelle, che mettono in comunicazione il bilanciere posto in capo al manico dello stantuffo, con bottoni infissi alla metà della lunghezza di uno dei raggi di ciascuna ruota.

Una tal disposizione non serve così bene a generare un movimento rapido come le ultime macchine che vennero somministrate all'industria da diversi costruttori. In queste i cilindri sono situati orizzontalmente al disotto della caldaja, ed il moto è comunicato direttamente dal manico dello stantuffo al manubrio di un albero piegato a gomito, sul quale sono stabilite le ruote, locchè semplifica d'assai il meccanismo: ma i risultamenti, in quanto al lavoro ottenuto ed al prezzo dei trasporti, non differiscono di molto: entrambi i sistemi sono in concorrenza usati sulla strada di Saint-Ètienne.

Ecco il prospetto del lavoro delle diverse macchine dal 1 maggio al 31 ottobre 1838.

MACCHINE A MOVIMENTO VERTICALE.

| Numero della macchina. | Numero dei tubi bollitori. | Distanze percorse in chilometri. | Quantità dei carri rimurchiati. | Quantità del coke consum. per carro e chilometro. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 65 | 13,776 | 9,665 | 1,65 |
| 2 | 57 | 10,924 | 7,334 | 1,85 |
| 3 | 43 | 12,802 | 8,456 | 1,72 |
| 4 | 43 | 7,971 | 5,114 | 2,03 |
| 5 | 43 | 9,988 | 6,876 | 1,75 |
| 6 | 49 | 15,691 | 10,612 | 1,75 |
| 7 | 49 | 3,053 | 2,092 | 1,86 |
| 8 | 43 | 8,509 | 5,479 | 1,79 |
| 9 | 49 | 15,487 | 10,315 | 1,68 |
| 10 | 82 | 11,426 | 8,111 | 1,68 |
| 11 | 82 | 10,372 | 6,914 | 1,72 |
| 12 | 82 | 679 | 530 | 1,79 |
| | | 120,678 | 81,504 | 21,27 |
| | Medie . . | 10,056 | 6,792 | 1,77 |

MACCHINE A MOVIMENTO ORIZZONTALE.

| Numero della macchina. | Numero dei tubi bollitori. | Distanze percorse in chilometri. | Quantità dei carri rimurchiati. | Quantità del coke consum. per carro e chilometro. |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 82 | 11,990 | 6,530 | 2,05 |
| 14 | 107 | 7,136 | 3,929 | 1,88 |
| 15 | 107 | 15,574 | 8,321 | 1,87 |
| 16 | 82 | 14,137 | 9,112 | 1,60 |
| | | 48,837 | 27,892 | 7,40 |
| | Medie . . | 12,209 | 6,973 | 1,85 |

Il genere di macchine da impiegarsi deve essere subordinato, come ho già fatto osservare, alla natura del servizio cui sono destinate, e alle abitudini di coloro che devono dirigerle. È assai facile il modificare il sistema

delle macchine in modo di renderle pesanti o leggiere, atte a strascinare pesi considerevoli con poca celerità, od a percorrere grandi spazj con rapidità estrema. In queste diverse circostanze, l'aderenza delle ruote sulle spranghe, la manutenzione della macchina, il consumo del combustibile, ecc., van soggetti a variazioni che devono tutte esser prese in considerazione nella scelta di un sistema di motori.

### X. Degli operaj macchinisti.

Quando s'introduce un'industria in un luogo che non esisteva da prima, bisogna affrettarsi ad educare la popolazione circonvicina, ed a far assumere alle classi lavoratrici quelle abitudini che stiano in armonia coi nuovi servigj che da loro si esigono. Ho sempre notato che vi sono i più grandi inconvenienti nell'attirare operaj stranieri quando si trasferiscono le industrie da un luogo all'altro. Quegli che si decidono ad abbandonare il loro paese sono per solito determinati dall'incentivo del salario che bisogna sempre loro offrire più alto di quello che conseguivano. Avviene anche d'ordinario che i concorrenti siano quelli ai quali la condotta irregolare o la mancanza d'ingegno non permette di aspirare, nei luoghi in cui sono, al medesimo trattamento degli altri: in guisa che alla fine si hanno i più cattivi operaj e si pagano egualmente, e spesso anche più, dei migliori delle officine da cui si chiamano.

Tali operaj sono di sovente estremamente gelosi del loro sapere: sopportano a stento i giovani che vengon messi al loro fianco per iniziarli nella loro arte e per metterli in istato di rimpiazzare più tardi i loro maestri. D'altra parte questi giovani si fanno un appoggio della paga di quei maestri per innalzare le loro pretese e per esigere di essere salariati al pari di quelli ai cui lavori partecipano. I vizj e le cattive abitudini, conseguenze di tutte le grandi riunioni di operaj, s'introducono nella nuova officina fino dalla sua origine, e vi seminano germi di malcontento e d'insubordinazione che son poi così difficili a reprimere.

Giova meglio, quando si può, l'instruire giovani intelligenti a condurre, a riparare ed a costruire le macchine. L'obbligo di organizzare le officine tosto che si mette ad esecuzione qualunque grande intrapresa, dà al capo di essa la facilità di scegliere e destinare agli impieghi giovani operaj, i quali per abilità, zelo e buona condotta siano degni di tale distinzione. È facile il far loro comprendere quanto sia vantaggioso per essi il collegare la propria fortuna a quella di un'intrapresa nascente la quale non richiede da loro alcun sagrificio per il tirocinio, e che ha tutto l'interesse nel far loro acquistare un'industria che offrirà loro tutti i vantaggi delle professioni le meglio rimunerate.

In questa maniera si popolano le officine di giovani nei quali si manifesta il gusto della meccanica, nutrendoli della speranza di metterli più tardi alla direzione delle macchine che si costruiscono sotto i loro occhi. A misura che una macchina esce dall'officina, quegli che è scelto ad esserne conduttore fa le sue prime prove con quella e giugne prontamente a mettersi in istato di dirigerla tanto bene come i più sperimentati operaj.

I fanciulli possono essere allevati in questa carriera fin dall'età più tenera età: cominciano coll'essere riscaldatori: poi passano alle officine per essere messi al fatto della costruzione e della riparazione, e n'escono per condurre le macchine. Con tal sistema adoperai sulla strada di ferro di Saint-Étienne, e la compagnia ne risente oggi i vantaggiosi effetti. Dessa tiene a sua disposizione una massa d'operaj attivi, intelligenti dedicati al suo servizio, e non ha bisogno di tentarne la cupidità con esagerati salarj per conservarli.

FINE.

# INDICE DELLE MATERIE


Introduzione . . . . . . . . . . . . . . . . pag. v

Capitolo I.

*Istoria delle strade di ferro.*

Origine delle strade di ferro . . . . . . . . . . 1
Del rango che le strade di ferro occupano nel sistema generale dei trasporti . . . . . . . . . . . . » 4
Dei vantaggi delle strade di ferro . . . . . . . . » 7
Considerazioni sui progressi probabili dell'arte di costruire le strade di ferro . . . . . . . . . . . . » 16

Capitolo II.

*Esame d'alcune quistioni preliminari.*

Doti che deve avere l'ingegnere incaricato di dirigere la costruzione della strada di ferro . . . . . . . . » 27
Degli impiegati . . . . . . . . . . . . . . . » 30
Delle concessioni . . . . . . . . . . . . . . . » 31
Della espropriazione . . . . . . . . . . . . . . » 36
Scelta della linea . . . . . . . . . . . . . . . » 52

Capitolo III.

*Del tracciato delle strade di ferro.*

Osservazioni generali . . . . . . . . . . . . . » 55
Del calcolo della resistenza dei vagoni e delle locomotive » 65
Andamento della strada di ferro da Saint-Étienne a Lione » 75
Dell'andamento generale di una linea di una strada di ferro fra due punti determinati . . . . . . . . » 82
Del tracciamento delle linee rette . . . . . . . . » 88
Delle curve . . . . . . . . . . . . . . . . . » 92
Delle pendenze . . . . . . . . . . . . . . . . » 101
Delle pendenze sulle quali si debbono impiegare i motori in due sensi . . . . . . . . . . . . . . . . » 135

Capitolo IV.

*Dell'eccesso di resistenza opposta dalle curve al corso dei convogli.*

Dello sdrucciolamento delle ruote delle vetture sulle spranghe nelle curve . . . . . . . . . . . . . . » 138
Della resistenza, nelle curve, dell'attrito verticale dei risalti delle ruote contro le spranghe . . . . . . . » 143

Dell'attrito degli orli delle ruote sulle spranghe delle curve, in senso orizzontale . . . . . . . . . . . pag. 144
Di alcune cause accidentali di resistenza . . . . . . » 153

CAPITOLO V.

*Dei lavori d'arte.*

Dei trasporti di terra . . . . . . . . . . . . . » 165
Dei tagli . . . . . . . . . . . . . . . . . . » 172
Dei terrapieni . . . . . . . . . . . . . . . . » 178
Delle gallerie . . . . . . . . . . . . . . . . » 183
Della direzione nelle forature . . . . . . . . . » 206
Delle opere di muro . . . . . . . . . . . . . . » 209
Della via. . . . . . . . . . . . . . . . . . . » 213
Dei sostegni dei cuscinetti. . . . . . . . . . . . » 220

CAPITOLO VI.

*Delle vetture.*

Della forma delle vetture . . . . . . . . . . . » 228
Dell'ingrasso e degli assi . . . . . . . . . . . » 232
Delle ruote . . . . . . . . . . . . . . . . . » 235
Delle opere in legno. . . . . . . . . . . . . . » 238
Delle macchine da caricare e scaricare le mercanzie. » ivi

CAPITORO VII.

*Dei motori.*

Dei cavalli . . . . . . . . . . . . . . . . . » 246
Dell'impiego del vapore nelle macchine . . . . . » 250
Delle macchine locomotive . . . . . . . . . . . » 280
Delle macchine locomotive sulle strade ordinarie. . » 299

CAPITOLO VIII.

*Della costruzione delle macchine locomotive.*

Della disposizione generale delle macchine . . . . » 301
Del focolare . . . . . . . . . . . . . . . . . » 305
Delle caldaje . . . . . . . . . . . . . . . . . » 307
Dei tubi bollitori . . . . . . . . . . . . . . . » 311
Dell'alimentazione d'aria nel fornello . . . . . . » 313
Delle trombe alimentarie . . . . . . . . . . . . » 316
Della distribuzione del vapore . . . . . . . . . » 317
Della valvola di sicurezza. . . . . . . . . . . . » 321
Del costo delle macchine . . . . . . . . . . . . » 323
Degli operaj macchinisti . . . . . . . . . . . . » 333

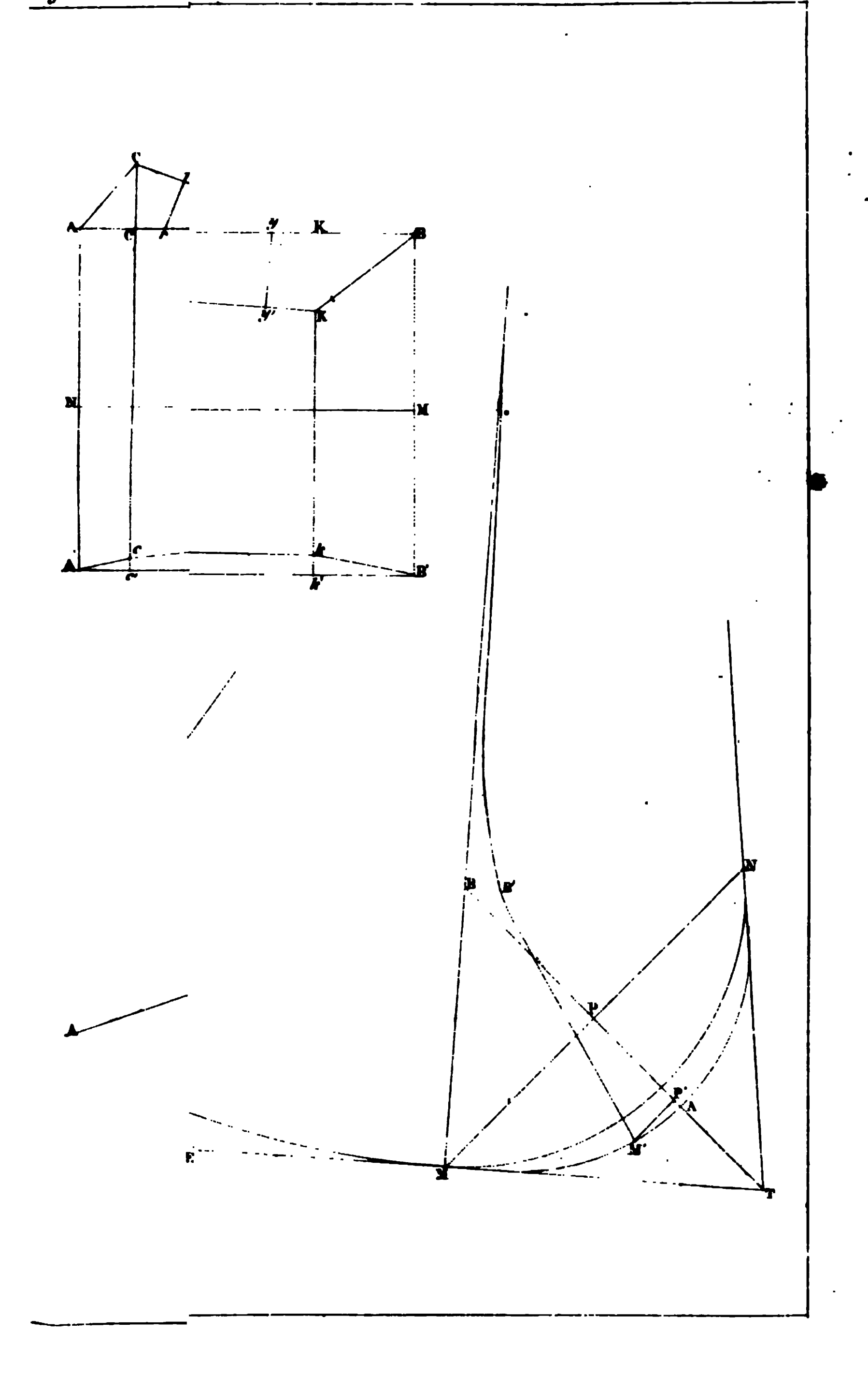
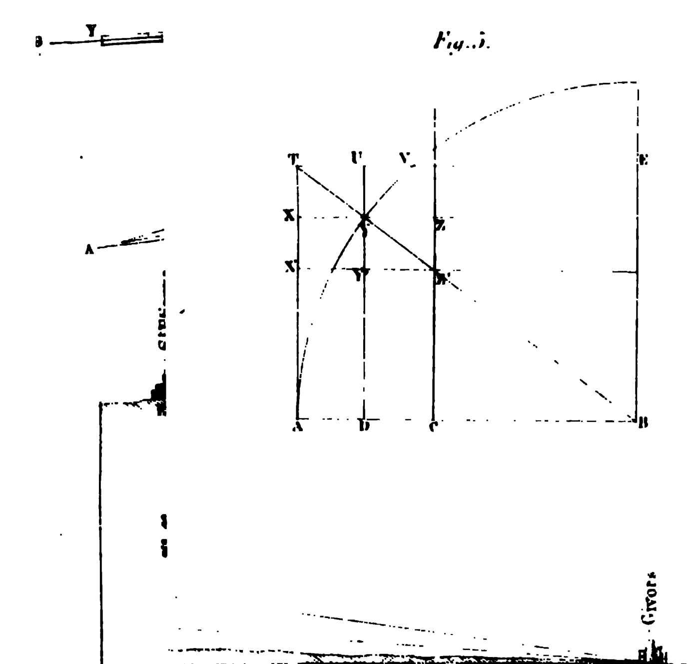
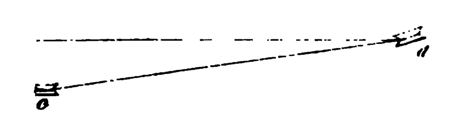

C
A
C'
y
K
B
y'
K
N
M
A
c
k
B'
c'
k'
B
B'
N
P
P'
A
M'
T
E
M
A




Fig. 5.





uin Stra

Tav. III.

Fig. 11

B

A
T
P
Y

B

Fig. 15

D

D

D

E

H

L

E

D

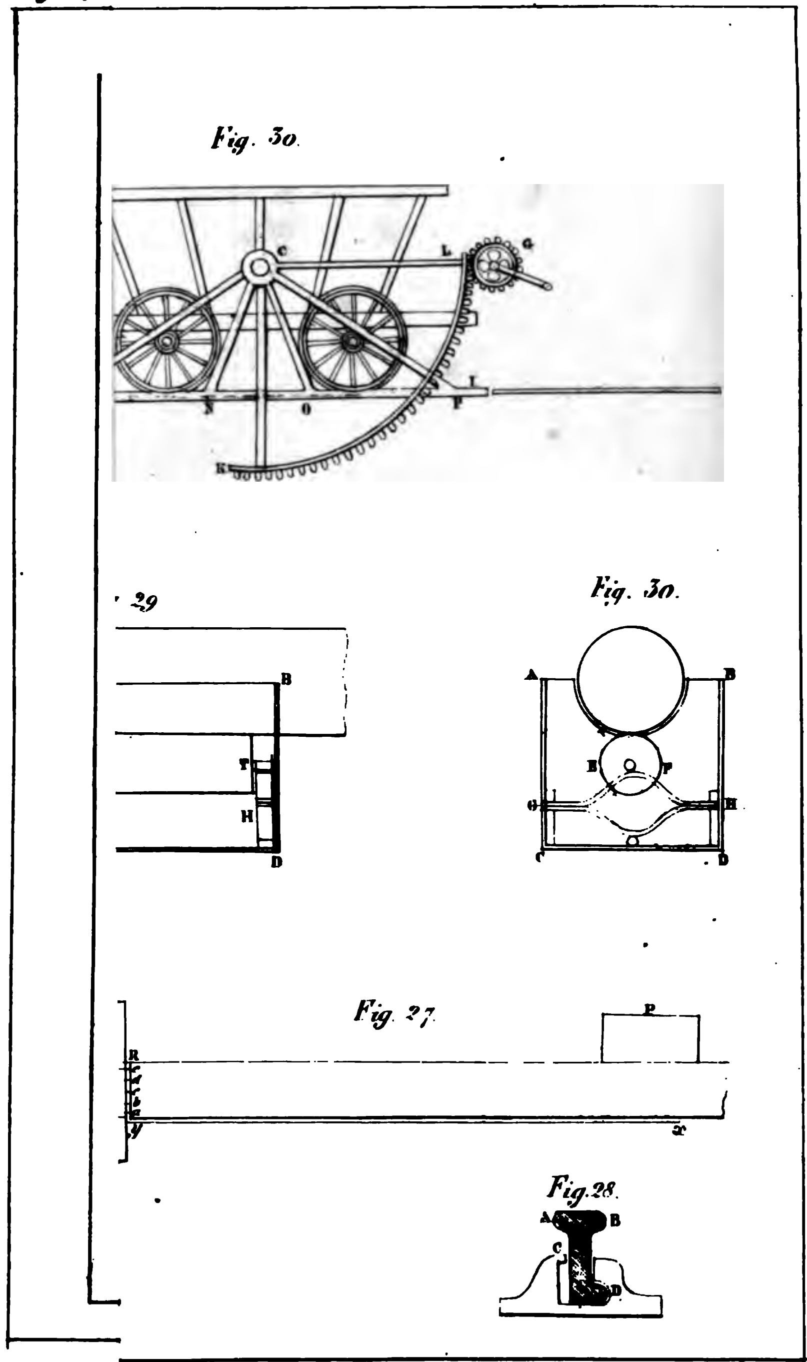
Fig. 22.

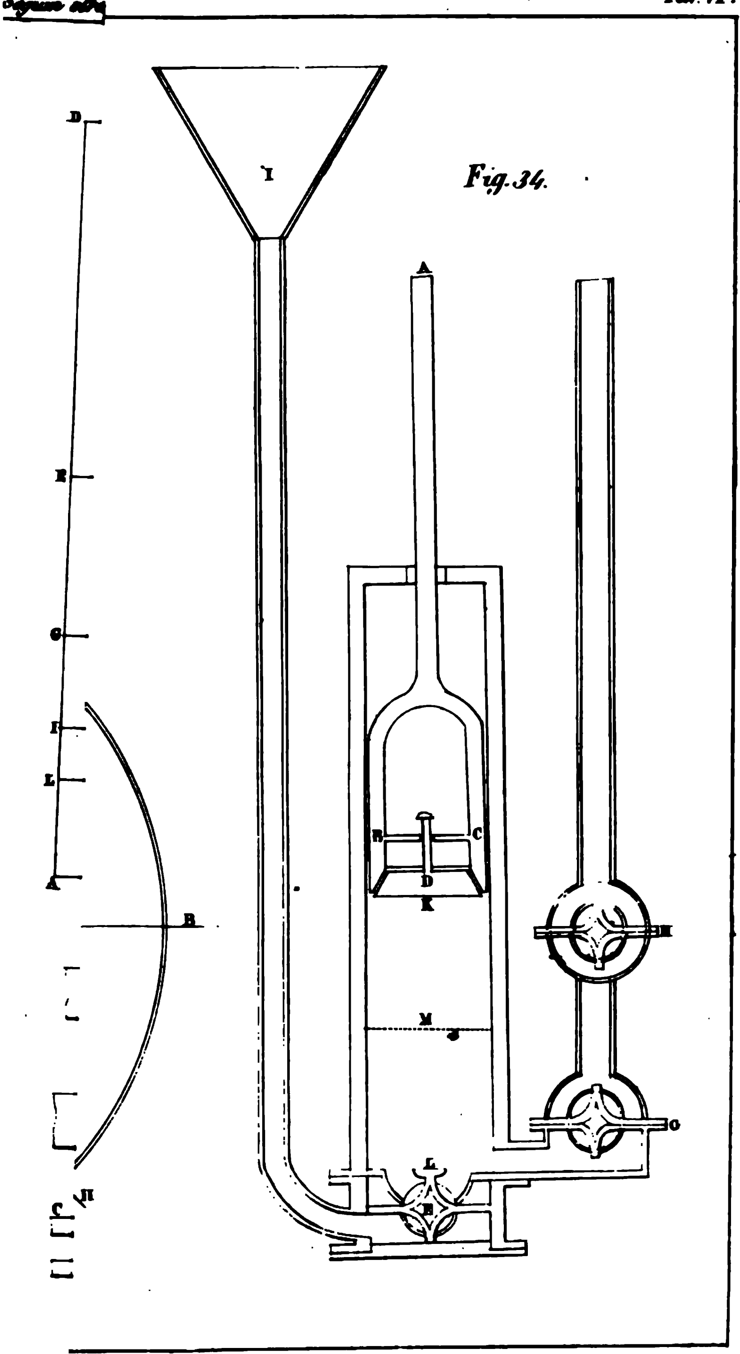
A
A
C
C
B
B

Fig. 17.



Fig. 19


Fig. 30.
C
L
G
I
N
O
P
K
29
B
T
H
D
Fig. 30.
A
B
E
F
G
H
C
D
Fig. 27.
P
R
y
x
Fig. 28.
A
B
C
D


Fig. 34.
I
A
B
C
D
K
M
L
H
G
D
E
G
I
L
A
B


TF 144 .S455
Dell' influenza delle strade d
Stanford University Libraries
3 6105 041 650 222
For
USE IN LIBRARY
ONLY